



FINAL PROJECT - RE091324

PERFORMANCE EVALUATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANT IN RUSUNAWA TANAH MERAH II SURABAYA

ENDAH SEPTYANI HARI SAPUTRI
NRP 3310 100 100

SUPERVISOR
Ir. DIDIK BAMBANG S., MT

CO-SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, MSc

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014



TUGAS AKHIR - RE091324

EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI RUSUNAWA TANAH MERAH II SURABAYA

ENDAH SEPTYANI HARI SAPUTRI
NRP 3310 100 100

DOSEN PEMBIMBING
Ir. DIDIK BAMBANG S., MT

CO-PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, MSc

PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014

EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI RUSUNAWA TANAH MERAH II SURABAYA

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan
pada**

**Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**ENDAH SEPTYANI HARI SAPUTRI
NRP. 3310.100.100**

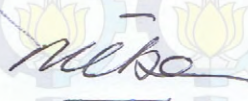
Disetujui oleh:

Pembimbing Tugas Akhir



**Ir. Didik bambang S., MT.
NIP. 196307051992031001**

Co-Pembimbing Tugas Akhir



**Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001**



EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI RUSUNAWA TANAH MERAH II SURABAYA

Nama Mahasiswa : Endah Septyani Hari Saputri
NRP : 3310 100 100
Jurusan : Teknik Lingkungan, FTSP-ITS
Pembimbing : Ir. Didik Bambang S., MT
Co-Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc

ABSTRAK

Rusunawa Tanah Merah II dibangun pada tahun 2009 dengan total 2 blok dan 192 unit satuan rumah termasuk instalasi pengolahan air limbahnya (IPAL). IPAL pada Rusunawa Tanah Merah II terdiri dari unit *anaerobic baffled reactor* (ABR) dan biofilter anaerobik bermedia batu koral. Kedua unit pengolahan terdapat pada setiap blok rusunawa. Selama 5 tahun beroperasi, kajian khusus untuk mengevaluasi kinerja IPAL belum pernah dilaksanakan sebelumnya. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi untuk menganalisis proses pengolahan air limbah beserta kendalanya. Analisis diawali dengan menguji sampel air limbah yang diambil di IPAL kedua blok. Selanjutnya hasil uji dibandingkan dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013. Parameter kualitas air limbah pada analisis terdiri dari BOD, COD, TSS, serta Minyak dan Lemak. Efisiensi removal pada kedua unit ABR untuk parameter BOD mencapai 40-86%, COD 41-86%, TSS 11-90%, serta minyak dan lemak 69-98%. Sedangkan efisiensi removal pada kedua unit biofilter anaerobik untuk parameter BOD mencapai 11-57%, COD 10-57%, TSS 21-73%, serta minyak dan lemak hingga 100%.

Kata kunci: *Evaluasi Kinerja, Anaerobic Baffled Reactor, Rusunawa Tanah Merah II Surabaya.*

PERFORMANCE EVALUATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANT IN RUSUNAWA TANAH MERAH II SURABAYA

Name : Endah Septyani Hari Saputri
Student ID : 3310 100 100
Department : Environmental Engineering, FTSP-ITS
Supervisor : Ir. Didik Bambang S., MT
Co-Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc

ABSTRACT

Rusunawa Tanah Merah II was built in 2009 with totally 2 twin blocks and 192 units included its wastewater treatment plant (WWTP). The WWTP in Rusunawa Tanah Merah II contains of anaerobic baffled reactor (ABR) and anaerobic filter with coral media. Both of units were built at each of twin block. Having been operated for about 5 years, there was no any former examination to evaluate WWTP performance. Therefore, the evaluation is needed to analyze the process of the treatment along with its obstacles. The analysis started by examining the wastewater samples which taken on WWTP in both of blocks. Then it compared to Governor Rule of East Java Number 72, 2013. Wastewater quality parameters in the analysis comprise BOD, COD, TSS, and Oil and Grease. The removal efficiency in both ABR reached 40-86% for BOD, 41-86% for COD, 11-90% for TSS, and 69-98% for oil and grease. Whereas in both anaerobic biofilter reached 11-57% for BOD, 10-57% for COD, 21-73% for TSS, and up to 100% for oil and grease.

Keywords: *Performance Evaluation, Anaerobic Baffled Reactor, Rusunawa Tanah Merah II Surabaya.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan, hikmat, akal budi, dan berkat-Nya, sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **“Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Rusunawa Tanah Merah II Surabaya”** dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ir. Didik bambang S., MT., dan Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan arahan, motivasi, nasihat dan ilmu serta bimbingannya.
2. Bapak Ir. Mohammad Razif, MM., Ibu Alia Damayanti, ST., MT., PhD., dan Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes. selaku dosen penguji.
3. Mbak Irene Boki atas waktu luang dan bantuan dalam memperoleh data sekunder.
4. Mbak Widya yang menemani untuk mencari lokasi rusunawa dan Bapak Andik yang membantu sampling.
5. Easter, Dede, Dewi Lego, Khusnul, Muhim, Ismi, Arin, Ervin, dan Tika Pang atas kebersamaannya.
6. Teman-teman seperjuangan 2010 yang selalu membantu dan memberikan motivasi, kritik dan sarannya.

Tak lupa penulis sampaikan terima kasih kepada kedua orang tua di Blitar dan keluarga besar Surabaya atas dukungan dan doanya. Penyelesaian Tugas Akhir ini tentunya memiliki keterbatasan. Adapun kritik, saran, maupun masukan terhadap Tugas Akhir ini akan diterima penulis.

Surabaya, Agustus 2014

Penulis

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Proses Anaerobik	10
Gambar 2.2 <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	13
Gambar 2.3 <i>Anaerobic Filter</i>	16
Gambar 2.4 Kelompok Bakteri Metabolik	16
Gambar 2.5 Skema Proses Mass Balance	20
Gambar 3.1 Bangunan Rusunawa Tanah Merah II	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Air Limbah	26
Gambar 3.3 Pipa Inlet dan Titik Pantau Unit ABR	27
Gambar 3.4 Tampak Atas Unit Biofilter Anaerobik	28
Gambar 3.5 Pipa Outlet IPAL	28
Gambar 4.1 Kerangka Penelitian	29
Gambar 5.1 Grafik Analisis BOD IPAL Blok 1	40
Gambar 5.2 Grafik Analisis BOD IPAL Blok 2	41
Gambar 5.3 Grafik Analisis COD IPAL Blok 1	42
Gambar 5.4 Grafik Analisis COD IPAL Blok 2	43
Gambar 5.5 Grafik Analisis TSS IPAL Blok 1	44
Gambar 5.6 Grafik Analisis TSS IPAL Blok 2	45
Gambar 5.7 Grafik Analisis Minyak Lemak IPAL Blok 1	46
Gambar 5.8 Grafik Analisis Minyak Lemak IPAL Blok 2	48
Gambar 5.9 Grafik Analisis pH IPAL Blok 1	49
Gambar 5.10 Grafik Analisis pH IPAL Blok 2	50
Gambar 5.11 <i>Grease Trap</i>	59
Gambar 5.12 Media Sarang Tawon	71
Gambar 5.13 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> ABR Blok 1	78
Gambar 5.14 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> Biofilter Anaerobik Blok 1	78
Gambar 5.15 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> ABR Blok 2	85
Gambar 5.16 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> Biofilter Anaerobik Blok 2	85
Gambar 5.17 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> ABR Blok 1	92
Gambar 5.18 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> Biofilter Anaerobik Blok 1	92
Gambar 5.19 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> ABR Blok 2	99

Gambar 5.20 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> Biofilter Anaerobik Blok 2	99
Gambar 5.21 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> ABR Blok 1	106
Gambar 5.22 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> Biofilter Anaerobik Blok 1	106
Gambar 5.23 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> ABR Blok 2	113
Gambar 5.24 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> Biofilter Anaerobik Blok 2	113
Gambar 5.25 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> ABR Blok 1	120
Gambar 5.26 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> Biofilter Anaerobik Blok 1	120
Gambar 5.27 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> ABR Blok 2	127
Gambar 5.28 Diagram Alir <i>Mass Balance</i> Biofilter Anaerobik Blok 2	127
Gambar 5.29 Grafik Penurunan Volume Lumpur Selama Penyimpanan	129

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Limbah Cair Domestik.....	3
Tabel 2.2 Penyebaran Penyakit dan Gejalanya	9
Tabel 2.3 Kriteria Desain Unit ABR.....	14
Tabel 2.4 Kriteria Desain Unit Biofilter Anaerobik.....	17
Tabel 2.5 Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter	19
Tabel 2.6 Daftar Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3.1 Hasil Uji Efluen IPAL Rusunawa Tanah Merah II	24
Tabel 4.1 Cara Pengawetan Sampel	33
Tabel 4.2 Metode Pengukuran Parameter Penelitian	33
Tabel 5.1 Data Hasil Analisis BOD IPAL Blok 1	39
Tabel 5.2 Data Hasil Analisis BOD IPAL Blok 2	40
Tabel 5.3 Data Hasil Analisis COD IPAL Blok 1	42
Tabel 5.4 Data Hasil Analisis COD IPAL Blok 2	43
Tabel 5.5 Data Hasil Analisis TSS IPAL Blok 1	44
Tabel 5.6 Data Hasil Analisis TSS IPAL Blok 2	45
Tabel 5.7 Data Hasil Analisis Minyak Lemak IPAL Blok 1	46
Tabel 5.8 Data Hasil Analisis Minyak Lemak IPAL Blok 2	47
Tabel 5.9 Data Hasil Analisis pH IPAL Blok 1	49
Tabel 5.10 Data Hasil Analisis pH IPAL Blok 2	49
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal BOD	52
Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal COD	52
Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal TSS.....	53
Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal OG.....	54
Tabel 5.15 Hasil Perhitungan Beban Organik Unit ABR.....	55
Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Kecepatan <i>Upflow</i> Unit ABR	56
Tabel 5.17 Hasil Analisis Kinerja Unit ABR.....	57
Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal BOD	61
Tabel 5.19 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal COD	61
Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal TSS.....	62
Tabel 5.21 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal OG.....	62
Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Beban Organik Unit Biofilter Anaerobik	64
Tabel 5.23 Hasil Perhitungan HRT Unit Biofilter Anaerobik.....	65

Tabel 5.24 Hasil Analisis Kinerja Unit Biofilter Anaerobik 66

Tabel 5.25 Perbandingan Hasil Analisis Kualitas Efluen..... 132

DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
Abstract.....	iii
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Ruang Lingkup.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Air Limbah Domestik.....	3
2.2 Parameter Pencemar.....	5
2.2.1 Biological Oxygen Demand.....	5
2.2.2 Chemical Oxygen Demand.....	6
2.2.3 Suspended Solids.....	7
2.2.4 Oil and Grease.....	7
2.2.5 Derajat Keasaman.....	8
2.2.6 Mikroorganisme Patogen.....	8
2.3 Pengolahan Biologis Anaerobik.....	10
2.4 Proses Pengolahan Air Limbah.....	11
2.5 Anaerobic Baffled Reactor.....	13
2.5.1 Proses Pengolahan Unit ABR.....	14
2.6 Biofilter Anaerobik.....	15
2.6.1 Proses Pengolahan Unit Biofilter Anaerobik.....	17
2.6.2 Jenis Media Biofilter Anaerobik.....	18
2.7 Mass Balance.....	19
2.8 Penelitian Terdahulu.....	20
BAB 3 KONDISI EKSISTING IPAL RUSUNAWA TANAH	
MERAH II.....	23
3.1 Umum.....	23

3.2	Unit Pengolahan Air Limbah.....	25
3.2.1	Anaerobic Baffled Reactor.....	26
3.2.2	Biofilter Anaerobik.....	27
BAB 4	METODOLOGI PENELITIAN.....	29
4.1	Kerangka Penelitian.....	29
4.2	Ide Tugas Akhir.....	30
4.3	Survei Lokasi.....	30
4.4	Studi Literatur.....	30
4.4.1	Sistem Pengolahan Air Limbah.....	30
4.4.2	Kriteria Desain Unit Pengolahan Air Limbah.....	31
4.4.3	Baku Mutu Air Limbah Domestik.....	31
4.5	Pengumpulan Data.....	31
4.5.1	Data Primer.....	31
4.5.2	Data Sekunder.....	33
4.6	Analisis dan Pembahasan.....	34
4.7	Kesimpulan dan Saran.....	35
BAB 5	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	37
5.1	Pendahuluan.....	37
5.2	Perhitungan Debit Limbah.....	35
5.3	Data Analisis Primer.....	38
5.3.1	Analisis Parameter BOD.....	39
5.3.2	Analisis Parameter COD.....	41
5.3.3	Analisis Parameter TSS.....	44
5.3.4	Analisis Parameter Minyak dan Lemak.....	46
5.3.5	Analisis Parameter pH.....	48
5.4	Anaerobic Baffled Reactor.....	51
5.4.1	Efisiensi Removal Unit ABR.....	51
5.4.2	Analisis Parameter Kinerja Unit ABR.....	54
5.4.3	Hasil Analisis Kinerja Unit ABR.....	57
5.5	Biofilter Anaerobik.....	60
5.5.1	Efisiensi Removal Unit Biofilter Anaerobik.....	60
5.5.2	Analisis Parameter Kinerja Unit Biofilter Anaerobik.....	63
5.5.3	Hasil Analisis Kinerja Unit Biofilter Anaerobik....	66
5.6	Analisis Keseimbangan Massa.....	72

5.6.1 Keseimbangan Massa pada Sampel Uji Pertama	72
5.6.1 Keseimbangan Massa pada Sampel Uji Kedua	86
5.6.1 Keseimbangan Massa pada Sampel Uji Ketiga	100
5.6.1 Keseimbangan Massa pada Sampel Uji Keempat	114
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	133
6.1 Kesimpulan	133
6.2 Saran	133
DAFTAR PUSTAKA	135
LAMPIRAN	141

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Rusunawa Tanah Merah II dibangun untuk memenuhi Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 tahun 2003. Unit pengolahan pada IPAL Rusunawa Tanah Merah II meliputi *anaerobic baffled reactor* (ABR) dan biofilter anaerobik bermedia batu koral. Kedua unit tersebut ditujukan untuk mengolah limbah *greywater* dan *blackwater* yang berasal dari kegiatan mandi, cuci, dapur, dan kakus. Adapun alur pengolahan air limbah dimulai dengan unit ABR menuju unit biofilter anaerobik lalu dialirkan menuju saluran drainase Rusunawa Tanah Merah II.

Uji kualitas efluen IPAL Rusunawa Tanah Merah II telah dilakukan sebelumnya oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya. Saat itu jumlah unit rumah yang telah dihuni hanya satu dari total dua blok Rusunawa Tanah Merah II. Hasil uji efluen menunjukkan bahwa konsentrasi BOD₅ dan TSS mencapai 157 mg/L dan 66 mg/L. Merujuk pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013, konsentrasi maksimum yang diizinkan untuk parameter BOD₅ dan TSS adalah 30 mg/L dan 50 mg/L. Maka disimpulkan bahwa kualitas efluen air limbah Rusunawa Tanah Merah II belum memenuhi baku mutu. Kajian khusus terhadap kinerja IPAL Rusunawa Tanah Merah II pun belum pernah dilaksanakan sejak IPAL dioperasikan pada tahun 2009. Oleh karena itu, studi terkait kinerja IPAL Rusunawa Tanah Merah II perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar efektifitas kinerja IPAL beserta kendalanya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Apakah penyebab kinerja IPAL Rusunawa Tanah Merah II belum bekerja secara efektif?

2. Bagaimana meningkatkan efisiensi pengolahan dan kinerja IPAL Rusunawa Tanah Merah II?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini ialah:

1. Mengevaluasi penyebab kinerja IPAL Rusunawa Tanah Merah II belum bekerja efektif.
2. Meningkatkan efisiensi pengolahan dan kinerja IPAL Rusunawa Tanah Merah II.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini yaitu:

1. Memberikan kontribusi ilmiah terhadap peningkatan kinerja IPAL Rusunawa Tanah Merah II, agar kualitas efluen yang dihasilkan memenuhi syarat baku mutu.
2. Memberikan saran perbaikan pada tiap unit IPAL Rusunawa Tanah Merah II, agar kinerja IPAL meningkat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini meliputi:

1. Lokasi penelitian berada di IPAL Rusunawa Tanah Merah II Surabaya.
2. Data sekunder meliputi kualitas efluen IPAL dan jumlah penghuni Rusunawa Tanah Merah II.
3. Data primer meliputi uji parameter BOD, COD, TSS, serta Minyak dan Lemak (OG).
4. Titik pengambilan sampel air limbah dilakukan pada inlet dan outlet unit ABR, serta outlet unit biofilter anaerobik.
5. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
6. Obyek yang dikaji adalah evaluasi kinerja unit ABR dan biofilter anaerobik berdasarkan baku mutu dan kriteria desain.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Berdasarkan aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya, Suriawiria (1996) menggolongkan air limbah domestik sebagai salah satu penyebab terjadinya pencemaran air yang berasal dari kegiatan rumah tangga. Pencemaran air didefinisikan sebagai pembuangan substansi dengan karakteristik dan jumlah yang menyebabkan estetika, bau, dan rasa menjadi terganggu dan atau menimbulkan potensi kontaminasi (Suripin, 2002).

Menurut draft Buku Putih Sanitasi Kota Surabaya (2010), air limbah domestik dibedakan menjadi dua jenis yaitu *greywater* dan *blackwater*. Air limbah jenis *greywater* dihasilkan dari kamar mandi, dapur, dan cucian, sedangkan *blackwater* dihasilkan dari kakus. Limbah cair domestik cenderung bersifat organo-mikrobiologis dan mengandung detergen. Hal ini dikarenakan kandungan pencemar air limbah cenderung organik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme. Air limbah jenis *blackwater* bersifat patogenik karena terkontaminasi oleh bakteri, virus, ataupun *Protozoa*. Adapun komposisi limbah cair domestik ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Limbah Cair Domestik

Komposisi	Feses	Urine	Satuan
Massa basah	135 – 270	1 – 1,31	gr
Massa kering	20 – 35	0,5 – 0,7	gr
Uap air	66 – 80	93 – 96	%
Organik	88 – 97	93 – 96	%
Nitrogen	5 – 7	15 – 19	%
Fosfor (P_2O_5)	3 – 5,4	2,5 – 5	%
Kalium (K_2O)	1 – 2,5	3 – 4,5	%
Karbon	44 – 55	11 – 17	%
Kalsium (CaO)	4,5 – 5	4,5 – 6	%

Sumber: Sugiharto, 1987

Oleh karena *greywater* dihasilkan dari aktivitas rumah tangga, sehingga karakteristik utama *greywater* tergantung pada budaya, kebiasaan, ataupun standar hidup. Namun demikian, karakteristik *greywater* secara spesifik tergantung dari sumber spesifik dihasilkannya *greywater* seperti penjelasan berikut:

1. Kegiatan Dapur

Greywater yang berasal dari dapur mengandung sisa-sisa makanan, kadar minyak dan lemak tinggi, termasuk detergen cucian peralatan masak (Ledin *et al.*, 2001). Adakalanya *greywater* mengandung pembersih saluran pipa dan pemutih. Dalam hal ini, *greywater* dari kegiatan dapur memiliki kadar nutrisi dan padatan tersuspensi tinggi. *Greywater* hasil cucian peralatan masak bisa jadi sangat bersifat alkali yang ditunjukkan dengan tingginya konsentrasi garam dan padatan tersuspensi.

2. Kegiatan Kamar Mandi

Greywater yang berasal dari kamar mandi dianggap sebagai limbah cair yang terkontaminasi oleh kegiatan rumah tangga paling sedikit. Umumnya limbah ini mengandung sabun mandi, sabun pencuci rambut, pasta gigi, dan produk perawatan tubuh lainnya (Crites dan Tchobanoglous, 1998). *Greywater* kamar mandi juga mengandung limbah cucur, lapisan mati kulit, rambut, urine, dan feses. Oleh karena itu, *greywater* kamar mandi cenderung terkontaminasi oleh mikroorganisme patogenik.

3. Kegiatan Laundry

Greywater dari kegiatan laundry berasal dari kegiatan mencuci pakaian maupun bahan kain lainnya. Limbah ini mengandung konsentrasi senyawa kimia yang tinggi dari detergen maupun cairan pemutih pakaian. Adapun detergen dan cairan pemutih pakaian umumnya mengandung sodium, fosfor, surfaktan, ataupun nitrogen. Dengan demikian, limbah ini banyak mengandung padatan tersuspensi dan tentunya minyak, cat, pelarut, dan serat pakaian yang bersifat *non-biodegradable* (Morel dan Diener, 2006).

Air limbah dari sektor rumah tangga umumnya dibuang pada pagi hari hingga sore hari, sehingga komposisi air limbah tidak akan konstan sepanjang waktu (Sasongko, 2006). Adapun sekitar 60-80% dari total air yang digunakan dalam rumah tangga akan dibuang sebagai limbah cair. Limbah tersebut secara langsung maupun tidak langsung akan mencapai badan air dan dapat mempengaruhi kualitas badan air (Nurmayanti, 2002).

Purwanto (2004) menyebutkan bahwa volume limbah cair yang dihasilkan oleh setiap orang untuk kegiatan mandi, cuci dan lain sebagainya mencapai 100 L/hari. Volume limbah domestik sangat bervariasi dan umumnya berkaitan erat dengan standar hidup masyarakat.

2.2 Parameter Pencemar

Analisis laboratorium digunakan untuk mengetahui kuantitas dan kualitas beban pencemaran, kelayakan pengolahan, dampak lingkungan, dan potensi produksi biogas oleh limbah cair tertentu. Oleh karena kualitas air limbah dapat berubah setiap waktu dan dipengaruhi oleh musim, analisis data menjadi tidak sepenuhnya mutlak. Maka dari itu, jauh lebih penting untuk mengetahui besar konsentrasi setiap parameter dan kisaran normalnya. Pada penelitian ini, parameter uji yang digunakan meliputi BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak, serta pH.

2.2.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD adalah jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri untuk mendegradasi pencemar organik. Penguraian bahan organik ini dilakukan bakteri dalam keadaan aerobik yang mana bahan organik tersebut digunakan oleh mikroorganisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi (Pescod, 1973). Kebutuhan oksigen biologi ditentukan dengan menginkubasi sampel selama lima hari, dan mengukur hilangnya oksigen dari awal sampai akhir pengujian (Brown dan Caldwell, 2001). Parameter BOD secara umum banyak dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran air buangan.

Penentuan nilai BOD merupakan suatu prosedur *bioassay* terkait dengan pengukuran banyaknya oksigen yang digunakan oleh organisme selama organisme tersebut menguraikan bahan organik pada kondisi menyerupai kondisi di alam. Selama pemeriksaan BOD, contoh yang diperiksa harus bebas dari udara luar untuk mencegah kontaminasi dari oksigen yang ada di udara bebas. Konsentrasi oksigen terlarut pada sampel uji harus diperhatikan selama analisis berlangsung. Hal ini dikarenakan kelarutan oksigen dalam air bersifat terbatas dalam kisaran ± 9 ppm pada suhu 20°C (Sawyer & Mc Carty, 2003).

2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan organik dalam air limbah dapat teroksidasi melalui reaksi kimia, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sulit didegradasi. Bahan organik yang didegradasi pada umumnya terdiri dari karbohidrat, protein, dan lipid. Dalam analisis COD dibutuhkan pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebagai sumber oksigen (Alaerts dan Santika, 1987). Keberadaan senyawa klor dalam analisis COD akan mengganggu proses analisis dikarenakan klor dapat bereaksi dengan kalium dikromat. Oleh karena itu, penambahan merkuri sulfat ke dalam sampel uji sangat diperlukan agar bereaksi dengan senyawa klor.

Jika pada suatu perairan terdapat bahan organik yang resisten terhadap degradasi biologis, misalnya tannin, fenol, atau polisakarida, maka lebih cocok dilakukan pengukuran COD daripada BOD. Hampir semua zat organik dapat dioksidasi oleh oksidator kuat seperti kalium dikromat dengan perkiraan sekitar 95-100% bahan organik dapat dioksidasi (Effendi, 2003). Selain itu keuntungan utama uji COD adalah pelaksanaan analisis yang tidak memakan waktu lama. Sebesar 96% hasil uji COD yang dilakukan selama 10 menit akan setara dengan hasil uji BOD selama 5 hari (Fardiaz, 1992).

2.2.3 Suspended Solids (SS)

Parameter padatan tersuspensi (*suspended solids*) menggambarkan seberapa banyak bahan organik maupun anorganik yang tidak dapat terlarut dalam air. Padatan tersuspensi yang tidak mudah mengendap terdiri dari banyak partikel berukuran kecil. Oleh karena berat partikel terlampaui ringan, sehingga tidak dapat dipastikan berapa lama waktu yang diperlukan agar partikel mengendap seluruhnya.

Kandungan SS pada air limbah dapat dianalisis melalui penyaringan pada kertas saring Whatman dengan ukuran pori 1,58 μm . SS merupakan salah satu parameter penting karena keberadaannya dapat menyebabkan kekeruhan pada badan air dalam bentuk partikel dan koloid. Semakin tinggi nilai konsentrasi SS, maka semakin sukar untuk diolah pada kondisi anaerobik (Mahmoud, 2011).

2.2.4 Oil and Grease (OG)

Minyak dan lemak (*oil and grease*) merupakan bahan organik *biodegradable* yang dapat terdegradasi secara biologis. Akan tetapi, teksturnya yang lengket, susah terlarut dalam air, dan mudah mengapung di permukaan air limbah menyebabkan sukar untuk diolah. Minyak memiliki berat molekul hidrokarbon bervariasi, sedangkan lemak cenderung memiliki berat molekul hidrokarbon lebih besar.

Semua minyak dan lemak tidak dapat dipisahkan di dalam unit sedimentasi, karena rendahnya nilai spesifik gravitasinya. Sifatnya yang mudah menggumpal atau mengental pada suhu rendah akan menghambat proses degradasi. Oleh karena itu, disarankan untuk memisahkan minyak dan lemak dari air limbah sebelum diolah secara biologis. Pemisahan minyak dan lemak secara fisik dapat dilakukan dengan flotasi. Parameter minyak dan lemak menjadi penting untuk dianalisis karena dapat menyebabkan penyumbatan pada sistem perpipaan.

2.2.5 Derajat Keasaman (pH)

Pada umumnya, skala pH berada dalam kisaran 0-14. Nilai pH = 7 mengindikasikan bahwa larutan bersifat netral, apabila pH < 7 mengindikasikan larutan bersifat asam, sedangkan pH > 7 mengindikasikan larutan bersifat basa. Parameter pH menjadi penting untuk dianalisis karena mempengaruhi reaksi biokimia pada aktivitas biologis. Banyak substansi penghambat (*inhibitor*) terhadap bakteri metanogenik dikontrol oleh nilai pH. Perubahan nilai pH pada pengolahan biologis juga dapat menyebabkan terganggunya kehidupan mikroorganisme dalam mendegradasi polutan (Nasution, 2008).

2.2.6 Mikroorganisme Patogen

Jumlah mikroorganisme yang terdapat dalam air limbah meliputi bakteri, alga, virus, dan fungi. Sifat biologis inilah yang perlu diketahui pula terkait dengan tingkat pencemaran air limbah (Tjokrokusumo, 1995). Kelompok mikroorganisme utama pada air limbah diantaranya protista, tumbuh-tumbuhan, dan hewan. Kelompok protista terdiri dari *Protozoa*, sedangkan kelompok tumbuh-tumbuhan meliputi paku-pakuan dan lumut. Kemudian kelompok hewan merupakan kumpulan bakteri.

Mikroorganisme patogen menjadi salah satu parameter biologis pada air limbah. Dikatakan patogen karena memiliki sifat penyebaran merugikan pada sistem pencernaan manusia. Keberadaan mikroorganisme patogen diketahui sebagai telur cacing dan sejumlah bakteri *faecal coliformes*. Bakteri *E. coli* sebenarnya tidak bersifat patogenik, tetapi digunakan sebagai indikator keberadaan bakteri *faecal*. Baik telur cacing, bakteri, maupun virus pada air limbah sangat tidak aman bagi manusia. Risiko penyebaran penyakit disebabkan oleh penggunaan air bersih yang terkontaminasi mikroorganisme patogenik dari air limbah. Oleh karena itu, penggunaan air bersih untuk mandi, mencuci, dan irigasi perlu diperhatikan. Adapun penyebaran penyakit beserta gejalanya yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen pada air limbah ditunjukkan pada Tabel 2.2.

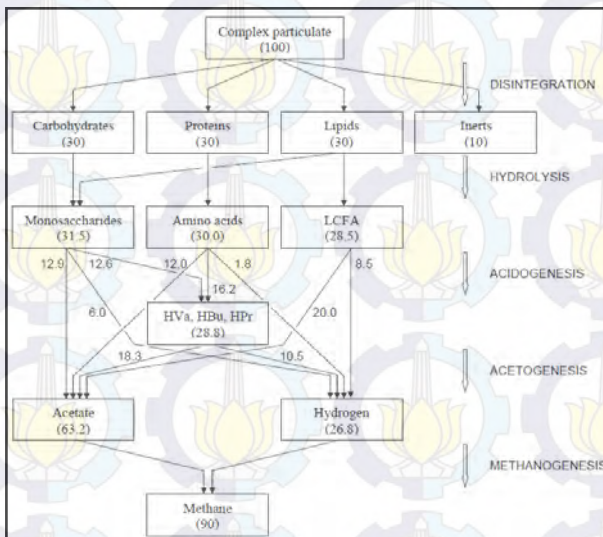
Tabel 2. 2 Penyebaran Penyakit dan Gejalanya

Organisme	Penyakit/ Gejala
<i>Virus</i>	
Polio virus	poliomyelitis
Coxsackie virus	meningitis, pneumonia, hepatitis, demam, dll.
Echo virus	meningitis, kelumpuhan, encephalitis, demam, diare, dll.
Hepatitis A virus	infeksius hepatitis
Rota virus	gastroenteritis akut dengan diare
Norwalk agents	gastroenteritis epidemik dengan diare
Reo virus	infeksi pernapasan, gastroenteritis
<i>Bakteri</i>	
<i>Salmonella spp.</i>	salmonellosis (keracunan makanan), tipus
<i>Shigella spp.</i>	disentri
<i>Yersinia spp.</i>	gastroenteritis akut, diare, nyeri perut
<i>Vibro cholerae</i>	kolera
<i>Campylobacter jejuni</i>	gastroenteritis
<i>Escherichia coli</i>	gastroenteritis
<i>Cacing Helminthes</i>	
<i>Ascari lumbricoides</i>	gangguan pencernaan, nyeri perut, mual, lelah
<i>Ascaris suum</i>	batuk, nyeri dada, demam
<i>Trichuris trichiura</i>	nyeri perut, diare, anemia, kehilangan berat badan
<i>Toxocara canis</i>	demam, nyeri sendi, nyeri perut, gangguan syaraf
<i>Taenia saginata</i>	insomnia, anoreksia, gangguan pencernaan
<i>Taenia solium</i>	insomnia, anoreksia, gangguan pencernaan
<i>Necator americanus</i>	penyakit hookworm
<i>Hymenolepsis nana</i>	taeniasis
<i>Protozoa</i>	
<i>Cryptosporidium</i>	gastroenteritis
<i>Entamoeba histolytica</i>	entritis akut
<i>Giardia lamblia</i>	giardiasis, diare, kram perut
<i>Balantidium coli</i>	diare, disentri
<i>Toxoplasma gondii</i>	toksoplasmosis

Sumber: Sasse, 1998

2.3 Pengolahan Biologis Anaerobik

Tujuan utama pengolahan secara biologi adalah menghilangkan bahan organik terutama yang terlarut dalam air limbah. Pada prinsipnya, pengolahan biologis memanfaatkan mikroorganisme yang berperan sebagai biokatalis. Reaksi perombakan atau degradasi mengubah bahan organik menjadi mineral CH_4 pada proses anaerobik (Soewondo dkk, 2009). Mikroorganisme merupakan biomassa yang diukur sebagai *mixed liquor volatile suspended solid* (MLVSS). Pengolahan biologis anaerobik merupakan teknologi menjanjikan dikarenakan terbentuknya gas metana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan (Hassell *et al.*, 2009). Meskipun tidak memerlukan oksigen terlarut dalam prosesnya, namun keberadaan oksigen tetap ada dalam bentuk sulfat (SO_4^{2-}), karbonat (CO_3^{2-}), dan Nitrat (NO_3^-). Dengan demikian, bakteri anaerob mendapatkan oksigen sebagai energi dari senyawa sulfat untuk bernapas. Hasil samping pada pengolahan anaerobik berupa gas hidrogen sulfida (H_2S) dan air (Anonim¹, 2010).



Gambar 2. 1 Skema Proses Anaerobik

Sistem anaerobik sangat cocok digunakan untuk mengolah air limbah dengan kekuatan pencemar tinggi (konsentrasi *biodegradable* COD mencapai > 4000 mg/L). Di samping itu, sistem anaerobik tidak membutuhkan banyak energi untuk mengoperasikannya. Kemampuan sistem anaerobik menghilangkan bahan organik terjadi melalui konversi polutan organik menjadi biogas (Frostell, 1983). Efisiensi pengolahannya terbilang tinggi dengan produksi lumpur (*sludge*) rendah. Sistem anaerobik umumnya berperan sebagai *pretreatment* yang mana menyerupai tangki ekualisasi influen. Kondisi ini mampu menurunkan perbedaan kebutuhan oksigen harian, sehingga kapasitas aerasi yang diperlukan mengalami penurunan (Cervantes *et al.*, 2006).

2.4 Proses Pengolahan Air Limbah

Secara prinsip, pengolahan air limbah bertujuan untuk menurunkan pencemar organik, membunuh organisme patogen, menghilangkan bahan nutrisi dan komponen beracun, serta bahan yang tidak dapat didegradasi. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan secara bertahap agar kandungan pencemar dapat tereduksi. Pemilihan kombinasi proses pengolahan limbah tergantung pada pertimbangan berikut:

1. Karakteristik air limbah yang akan diolah
2. Kualitas efluen yang dibutuhkan
3. Biaya dan lahan yang tersedia (Metcalf dan Eddy, 2003).

Adapun klasifikasi pengolahan air limbah dikelompokkan atas:

1. Berdasarkan tingkat pengolahan.
 - a. Pengolahan primer merupakan proses pengolahan tahap awal terhadap air limbah dan merupakan proses secara fisik. Parameter fisik pada air limbah meliputi kekeruhan, warna, suhu, bau, dan rasa.
 - b. Pengolahan sekunder merupakan proses pengolahan tahap kedua terhadap air limbah. Pada umumnya, pengolahan sekunder merupakan gabungan proses kimiawi dan biologis menggunakan mikroorganisme.

- c. Pengolahan tersier merupakan proses pengolahan lanjutan dari pengolahan sekunder. Diketahui bahan pencemar yang diolah pada pengolahan tersier tidak dapat dihilangkan pada pengolahan sekunder. Beberapa parameter pencemar tersebut meliputi N, dan P.

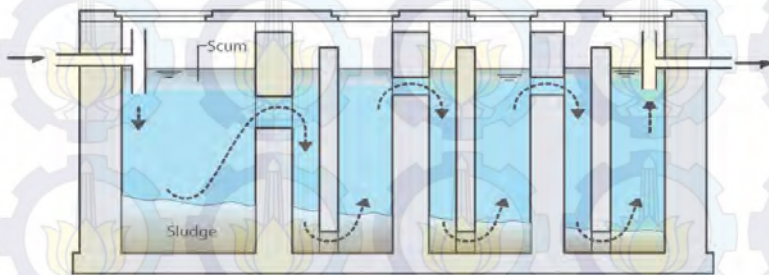
2. Berdasarkan unit operasi dan proses.

- a. Pengolahan fisik merupakan pengolahan dengan melakukan removal bahan pencemar secara fisik. Adapun unit pengolahan fisik meliputi: *screening*, *communitor*, *grit chamber*, *mixing*, sedimentasi dan filtrasi.
- b. Pengolahan kimiawi merupakan proses removal ataupun konversi kontaminan melalui penambahan bahan kimia. Unit pengolahan bahan kimia meliputi: presipitasi, transfer gas, koagulasi, desinfeksi, dan karbon aktif.
- c. Pengolahan biologis merupakan proses pengolahan dengan melakukan removal kontaminan pada air limbah. Proses yang berlangsung secara biologis memanfaatkan mikroorganisme. Tujuan utama pada pengolahan biologis untuk meremoval bahan organik *biodegradable* dalam air limbah. Pengolahan biologis dapat dibedakan menurut pemakaian oksigennya, yaitu:
- Proses aerobik sistem tersuspensi: *activated sludge*, *aerated lagoon*, *aerobic digester*, *sequencing batch reactor*, *oxidation ditch*.
 - Proses aerobik sistem terlekat: *trickling filter*, *rotating biological contactor*.
 - Proses anaerobik sistem tersuspensi: *anaerobic digestion*, *anaerobic baffled reactor*, *upflow anaerobic sludge blanket*.
 - Proses anaerobik sistem terlekat: *anaerobic filter*.
 - Proses fakultatif: *facultative lagoon*, dan *maturation ponds* (Metcalf dan Eddy, 2003).
 - Proses anoksik secara tersuspensi: *suspended growth denitrification*.

- Proses anoksik secara terlekat: *fixed-film denitrification*.

2.5 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Anaerobic baffled reactor (ABR) merupakan salah satu jenis *high-rate* reaktor menggunakan prinsip pengolahan biologis sistem tersuspensi. Pada sistem ini, pertumbuhan mikroorganisme terjadi secara tersuspensi di dalam reaktor. Kontak antara mikroorganisme dengan air limbah dilakukan dengan merekayasa aliran air limbah. Unit ABR digambarkan sebagai rangkaian reaktor UASB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Hal ini dikarenakan unit ABR terdiri dari beberapa kompartemen sejajar (Manariotis dan Grigoropoulos, 2002).



Gambar 2. 2 Anaerobic Baffled Reactor

Setiap kompartemen ABR dibatasi oleh dinding sekat (*baffle*) yang menggantung secara vertikal (Nguyen *et al.*, 2010). Pola letak *baffle* inilah yang kemudian menciptakan aliran *upflow*, sehingga air limbah mengalir dari bawah ke atas pada setiap kompartemen (Dama *et al.*, 2002). Keberadaan *baffle* yang menghasilkan friksi akan menimbulkan pengadukan sesuai arah aliran air limbah. Aliran *upflow* mampu mengurangi terjadinya penghanyutan mikroorganisme, sehingga tetap berada di dalam reaktor tanpa menggunakan media apapun.

2.5.1 Proses Pengolahan Unit ABR

Mikroorganisme di dalam reaktor mendegradasi bahan organik air limbah yang berlangsung secara anaerobik. Proses degradasi ditandai dengan produksi gas yang terdapat pada setiap kompartemen ABR. Gas yang terbentuk untuk kemudian dialirkan keluar melalui pipa vent. Pengendapan mikroorganisme dalam bentuk lumpur aktif terjadi secara perlahan menuju ke dasar reaktor. Pergerakan pengendapan lumpur aktif yang tidak searah dengan aliran *upflow* air limbah menyebabkan terjadinya kontak antara biomassa dengan air limbah (Barber dan Stuckey, 1999). Kontak yang terjadi dengan baik antara aliran air limbah dan biomassa akan menghasilkan efisiensi removal organik lebih besar. Pada prinsipnya, semua fase pada proses degradasi anaerobik dapat berlangsung secara serempak di setiap kompartemen (Foxon *et al.*, 2001).

Dalam satu unit ABR terdapat tiga klasifikasi zona yang dilalui air limbah selama proses pengolahan berlangsung. Ketiga zona tersebut meliputi zona asidifikasi, metanasi, dan zona penyangga. Pada zona asidifikasi terjadi pembentukan asam lemak volatil sebagai indikator berlangsungnya proses fermentasi. Keberadaan asam lemak volatil menyebabkan penurunan nilai pH dan memicu terjadinya peningkatan kapasitas penyangga untuk menaikkan nilai pH. Selanjutnya pada zona metanasi terbentuk gas metana yang dialirkan keluar melalui pipa ventilasi pada unit ABR. Zona terakhir yang merupakan zona penyangga berfungsi untuk menstabilisasi proses yang telah berlangsung. Adapun parameter kinerja unit ABR dapat diketahui secara keseluruhan melalui kriteria desainnya. Tabel 2.3 menunjukkan kriteria desain yang digunakan pada unit ABR.

Tabel 2. 3 Kriteria Desain Unit ABR

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1	Removal COD	65 – 90	%	Sasse, 1998
2	Removal BOD	70 – 95	%	
3	Removal TSS	40 – 70	%	Purwanto, 2004

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
4	Beban organik	< 3	kg COD/m ³ .hari	Sasse, 1998
5	Hydraulic retention time	> 8	jam	
6	Upflow velocity	< 2	m/jam	

Barber dan Stuckey (1999) serta Foxon *et al.* (2001) menyebutkan beberapa keuntungan yang didapatkan dari penggunaan unit ABR. Keuntungan tersebut ditinjau dari segi konstruksi, biomassa, dan operasional.

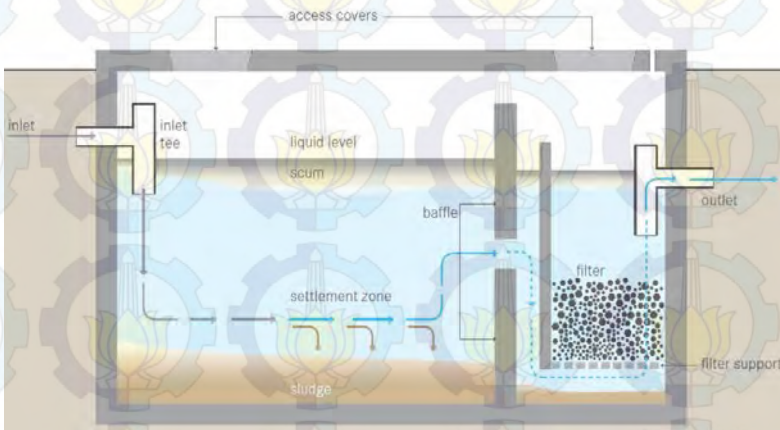
1. Segi Konstruksi:
 - Desain sederhana.
 - Tidak membutuhkan pengadukan mekanis.
 - Rendahnya kemungkinan terjadi penyumbatan (*clogging*).
 - Tidak memerlukan perluasan bidang *sludge bed*.
 - Rendahnya biaya konstruksi, operasi, dan pemeliharaan.
2. Segi Biomassa:
 - Tidak memerlukan perlakuan tertentu pada biomassa.
 - Rendahnya produksi lumpur.
 - Tingginya nilai *sludge retention time* (SRT).
 - Tidak membutuhkan media tumbuh.
 - Tidak membutuhkan pemisahan lumpur maupun gas.
3. Segi Operasional:
 - Rendahnya nilai *hydraulic retention time* (HRT).
 - Daya tahan terhadap beban kejut relatif stabil.
 - Daya tahan operasional berlangsung lama.

Unit ABR juga memiliki kekurangan yaitu tidak mampu meremoval nutrisi N dan P pada air limbah, sehingga diperlukan pengolahan lanjutan atau dimanfaatkan dalam bidang pertanian.

2.6 Biofilter Anaerobik

Unit biofilter anaerobik memanfaatkan mikroorganisme yang tumbuh melekat pada media tertentu. Jenis biofilter ini umumnya disebut juga sebagai filter anaerobik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada sistem pertumbuhan terlekat, mikroorganisme tumbuh dan berkembang di permukaan suatu

media pendukung dengan membentuk lapisan biofilm (Herlambang dan Said, 2010). Media tumbuh mikroorganisme yang digunakan berupa kerikil, pasir, plastik, dan partikel karbon aktif (EPA, 2004). Struktur reaktor biofilter anaerobik menyerupai saringan/ filter yang terdiri dari susunan granular media secara acak atau teratur. Penerapan biofilter sangat efektif dalam mengolah air limbah yang memiliki beban BOD dan padatan tersuspensi (SS) tinggi (Wijeyekoon *et al*, 2000). Kunci proses pengolahan air limbah yang terjadi di dalam biofilter terletak pada lapisan biofilm yang terbentuk di permukaan media.



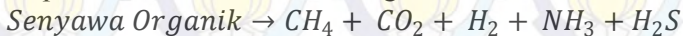
Gambar 2. 3 Anaerobic Filter

Proses pembentukan biofilm terjadi ketika sel melekat pada sel lainnya atau padatan organik *inert* (Jamilah dkk., 1998). Oleh karena itu media biofilter harus dipilih dengan seksama dan disesuaikan dengan kondisi proses serta jenis air limbah yang akan diolah. Proses pelekatan sel mikroorganisme diawali dengan terbentuknya butiran perintis berupa satuan sel dan tumbuh menjadi suatu koloni (Agustian, 2003). Sel baru yang tumbuh pada permukaan media belum bersifat permanen, sehingga rentan terlepas dan terhanyut. Namun, selang beberapa hari selama waktu adaptasi berlangsung, sel akan melekat erat pada

permukaan media dan membentuk koloni. Kecepatan pelekatan sel pada permukaan media tidak selalu sama, tergantung pada struktur media dan daya rekatnya (Jamilah dkk., 1998).

2.6.1 Proses Pengolahan Unit Biofilter Anaerobik

Mekanisme kerja biofilter anaerobik diawali dengan pengaliran air limbah melewati celah media dan kemudian terjadi kontak langsung dengan lapisan biofilm. Adapun aliran dapat disusun secara *upflow* maupun *downflow*, namun cara *upflow* merupakan aliran yang paling banyak digunakan. Biofilm yang terbentuk pada lapisan atas media dinamakan *zoogeal film* yang terdiri dari bakteri, fungi, dan protozoa. Metcalf dan Eddy (2003) menyatakan bahwa sel bakteri-lah yang banyak berperan dan digunakan secara luas dalam proses pengolahan air limbah. Polprasert (1989) menggambarkan keseluruhan reaksi penguraian limbah pada biofilter anaerobik sebagai berikut:



Sejumlah besar bakteri anaerobik dan fakultatif (*Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*) terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik. Empat kelompok bakteri yang terlibat dalam transformasi senyawa kompleks menjadi molekul sederhana bekerja satu sama lain secara sinergis. Unit biofilter anaerobik dirancang tertutup untuk mencegah masuknya udara ke dalam reaktor. Dalam pengoperasiannya, tidak pula dibutuhkan aerator. Oleh karena itu, pembentukan gas sebagai produk samping dikeluarkan melalui pipa vent. Tabel 2.4 menjelaskan kriteria desain unit biofilter anaerobik.

Tabel 2. 4 Kriteria Desain Unit Biofilter Anaerobik

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1	Removal BOD	50 – 90	%	Sasse, 1998
2	Removal TSS	50 – 80	%	
3	Beban organik	4 – 5	kg COD/m ³ .hari	

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
4	Hydraulic retention time	0,7 – 1,5	hari	Morel dan Diener, 2006

Said (2000) menyebutkan beberapa keuntungan yang didapatkan pada penerapan unit biofilter anaerobik mengolah air limbah sebagai berikut:

1. Biaya Operasional dan pemeliharaan rendah.
2. Pengoperasian dan start up mudah.
3. Tidak membutuhkan resirkulasi.
4. Lumpur yang dihasilkan sedikit.
5. Tidak memerlukan aerator.
6. Mampu meremoval padatan tersuspensi dengan baik.
7. Dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan kekuatan pencemar tinggi maupun rendah.
8. Tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun konsentrasi.

Unit biofilter anaerobik juga memiliki kekurangan yaitu tidak mampu meremoval amoniak, deterjen, dan hidrogen sulfida. Oleh karena itu, banyak disarankan bila penggunaan unit biofilter memakai kombinasi proses anaerob-aerob. Dengan demikian, penurunan konsentrasi polutan minyak atau lemak, organik, amoniak, TSS, deterjen, dan fosfat dapat terlaksana.

2.6.2 Jenis Media Biofilter Anaerobik

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik maupun anorganik. Media filter dari bahan organik memiliki bentuk beragam seperti tali, jaring, butiran tak teratur, papan, sarang tawon, dll. Sedangkan media filter dari bahan anorganik meliputi batu pecah, kerikil, batu marmer, batu tembikar, batu bara, dll.

Pada media biofilter yang terbuat dari bahan anorganik akan memiliki luas permukaan lebih besar ketika diameternya semakin kecil. Dalam hal ini, luas permukaan besar akan menghasilkan biakan mikroorganisme dalam jumlah besar pula.

Namun demikian, volume rongga di setiap media akan menjadi lebih kecil. Jika sistem aliran dilakukan secara *downflow*, maka penumpukan lumpur organik pada bagian atas dapat mengakibatkan penyumbatan. Adanya penyumbatan akan mengakibatkan terjadinya aliran singkat dan penurunan jumlah aliran, sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis. Oleh karena itu, proses pencucian media filter perlu dilakukan secara berkala.

Media filter yang terbuat dari bahan organik banyak dicetak dari bahan anti korosif dan ringan, seperti PVC. Luas permukaan spesifik dan volume rongga/ porositas pada media filter cetakan umumnya lebih besar. Dengan demikian, kemampuan media filter untuk melekatkan mikroorganisme pada permukaannya juga menjadi lebih besar. Resiko terjadinya penyumbatan pun menjadi sangat kecil. Kondisi ini sangat memungkinkan untuk diterapkan pada pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi tinggi. Beberapa contoh media filter beserta luas permukaan spesifiknya dapat dilihat pada Tabel 2.5.

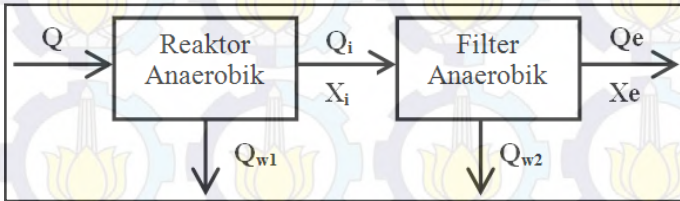
Tabel 2. 5 Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1	Trickling filter dengan batu pecah	100 – 200
2	Modul sarang tawon	150 – 240
3	Tipe jaring	50
4	RBC	80 – 150
5	Bioball (random)	200 – 240

Sumber: Said, 2000

2.7 Mass Balance

Prinsip analisis mass balance adalah kesetimbangan antara beban konsentrasi limbah yang masuk (*inflow*) dengan beban konsentrasi limbah yang keluar (*outflow*) setelah diolah. Skema proses mass balance dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 4 Skema Proses Mass Balance

Keterangan Gambar 2.4:

Q : Debit influen (m^3/detik)

X : MLSS (mg/L)

Q_w : Debit lumpur buangan (m^3/detik)

Q_e : Debit efluen (m^3/detik)

X_e : Efluen padatan tersuspensi (mg/L)

Adapun rumus perhitungan mass balance yang disesuaikan dengan Gambar 2.4 ialah sebagai berikut:

$$Q_{\text{In}} = Q_{\text{Out}}$$

$$Q = Q_{w1} + Q_{w2} + Q_e$$

2.8 Penelitian Terdahulu

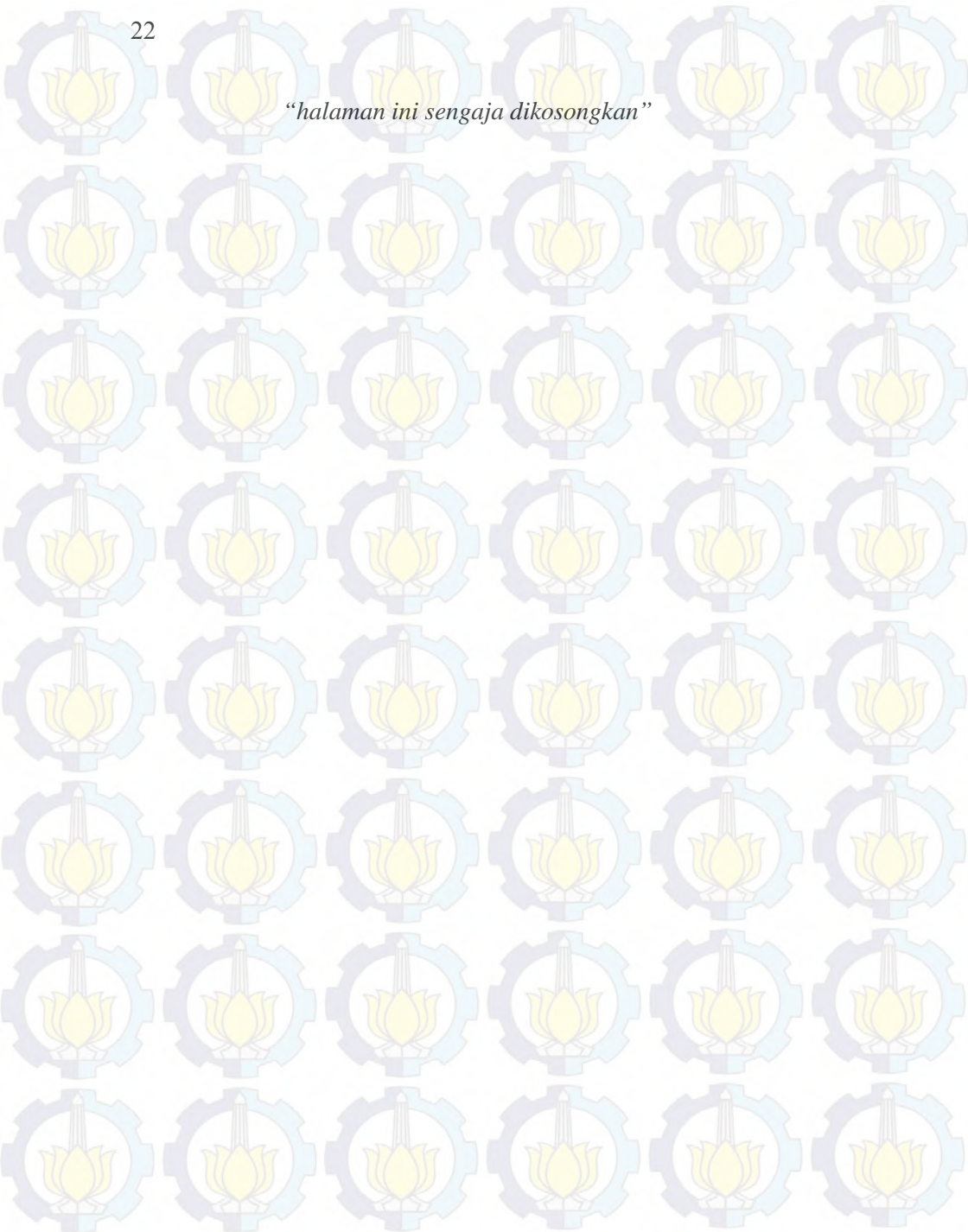
Hasil penelitian terdahulu dimanfaatkan sebagai referensi pustaka dalam penulisan tugas akhir. Tabel 2.6 menunjukkan daftar penelitian terdahulu berkaitan dengan penelitian ini.

Tabel 2. 6 Daftar Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Hasil
1	Performance of An Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in Treatment of Cassava Wastewater (Ferraz <i>et al.</i> , 2009).	Unit ABR berfungsi untuk mengolah air limbah ubi kayu yang terdiri dari empat kompartemen dengan volume total 4 L. Pengoperasian berlangsung pada suhu 35°C dengan variasi beban COD pada kisaran 2000-7000 mg/L . Adapun efisiensi removal COD mencapai 83-92% dengan nilai HRT selama 3,5 hari.

No.	Judul	Hasil
2	Performance Evaluation of An Anaerobic Baffled Reactor Treating Wheat Flour Starch Industry Wastewater (Movahedyan <i>et al.</i> , 2007).	Kelayakan proses ABR diteliti untuk mengolah air limbah kanji dari tepung gandum. Reaktor terdiri dari lima kompartemen dengan volume total 13,5 L. Besar beban COD pada influen mencapai 4500 mg/L dengan waktu pembenihan lumpur selama 9 minggu. Lumpur yang dipakai berasal dari reaktor anaerobik pada IPAL perkotaan. Dengan nilai HRT 72 jam dan suhu 35°C serta beban organik 1,2 kg COD/m ³ .hari menghasilkan efisiensi removal COD sebesar 61%. Kinerja terbaik dicapai oleh reaktor pada beban organik 2,5 kg COD/m ³ .hari dengan HRT selama 2,45 hari dan menghasilkan efisiensi removal COD sebesar 67%. Di samping itu, konsentrasi SS pada efluen tercapai 50 mg/L.
3	Treatment Efficiency of An Anaerobic Baffled Reactor Treating Low Biodegradable and Complex Particulate Wastewater (blackwater) in An ABR Membrane Bioreactor (MBR-ABR) Unit (Bwapwa, 2012)	Percobaan terhadap unit ABR dilakukan dalam skala laboratorium. Adapun persentase removal COD berkisar antara 52-80% tergantung pada beban COD inlet. Sebesar 28% removal COD diperkirakan berlangsung secara biologis oleh biomassa.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

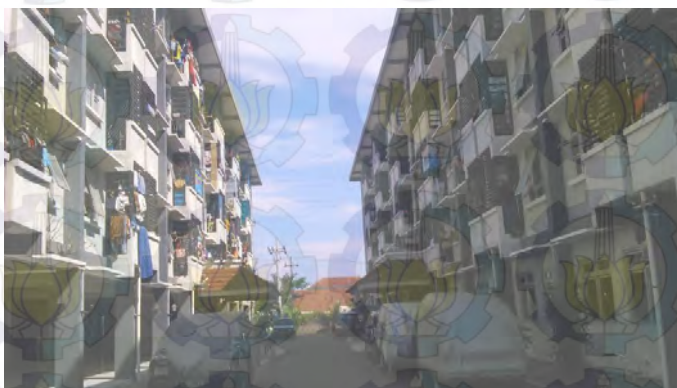


BAB 3

KONDISI EKSISTING IPAL RUSUNAWA TANAH MERAH II

3.1 Umum

Pembangunan Rusunawa Tanah Merah II berikut IPALnya dilaksanakan pada tahun 2007 dan dioperasikan sejak tahun 2009. Lokasi Rusunawa Tanah Merah II terletak di Jalan Tanah Merah V, Kelurahan Tanah Kali Kedinding. Gedung bangunan Rusunawa Tanah Merah II berjumlah 2 blok yang mana tiap blok memiliki 4 lantai bangunan. Setiap lantai bangunan rusunawa memiliki 24 satuan rumah yang dihuni oleh setiap kepala keluarga (KK). Masing-masing KK yang menghuni unit rumah susun dikenai suatu persyaratan yaitu hanya boleh terdiri dari 4 anggota keluarga. Apabila dalam satu blok terdiri dari 96 satuan rumah, maka total penghuni pada tiap blok berjumlah 384 jiwa atau setara dengan 96 KK. Dengan demikian, total keseluruhan jumlah penghuni Rusunawa Tanah Merah II mencapai ± 768 jiwa atau setara dengan 192 KK. Gambar 3.1 menunjukkan gedung bangunan Rusunawa Tanah Merah II yang mana sisi kiri merupakan gedung blok 2 dan sisi kanannya merupakan gedung blok 1.



Gambar 3. 1 Bangunan Rusunawa Tanah Merah II

Jenis air limbah yang diolah pada IPAL Rusunawa Tanah Merah II merupakan *greywater* dan *blackwater*. Sumber air limbah jenis *greywater* berasal dari kegiatan mandi, cuci, dan dapur, sedangkan *blackwater* berasal dari kakus. Kedua jenis limbah dialirkan menuju unit IPAL melalui sistem perpipaan. Adapun IPAL Rusunawa Tanah Merah II tidak dilengkapi dengan *flowmeter*, sehingga debit air limbah tidak dapat diketahui. Oleh karena itu, pengukuran debit dilakukan secara manual dengan menampung sejumlah volume air limbah yang diukur selama waktu tertentu menggunakan *stopwatch*.

BLH Kota Surabaya telah melakukan uji kualitas efluen IPAL Rusunawa Tanah Merah II pada tahun 2013. Baku mutu yang digunakan oleh BLH Kota Surabaya disesuaikan dengan Kepmeneg LH No. 112 tahun 2003. Pengambilan sampel uji dilakukan oleh BLH Kota Surabaya pada pipa outlet IPAL. Saat uji kualitas efluen dilaksanakan, jumlah penghuni pada kedua blok Rusunawa Tanah Merah II belum mencapai maksimum. Adapun frekuensi pengambilan sampel uji sebanyak lima kali dilaksanakan pada musim kemarau dan musim penghujan. Pengambilan sampel pertama dilakukan pada musim kemarau, sedangkan keempat sampel uji lainnya diambil pada musim penghujan. Hasil uji efluen air limbah domestik pada IPAL Rusunawa Tanah Merah II ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Uji Efluen IPAL Rusunawa Tanah Merah II

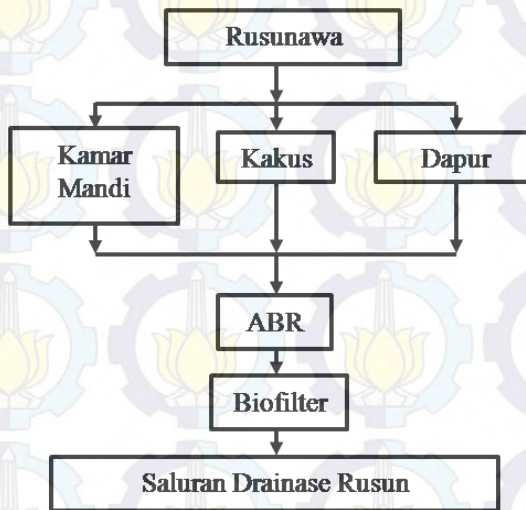
Parameter	Pengambilan ke-					Konsentrasi Maksimum
	I	II	III	IV	V	Kepmen LH No. 112/ 2003
pH	7,02	7,11	6,5	6,8	6,8	6-9
BOD ₅	131	62	102	157	122	100
TSS	8	46,5	21	66	36	100
Minyak dan Lemak	< 2,7	< 2,7	< 2,7	< 2,7	0,4	10

Sumber: BLH Kota Surabaya, 2013

Hasil uji efluen IPAL Rusunawa Tanah Merah II menunjukkan bahwa konsentrasi BOD₅ belum memenuhi baku mutu. Konsentrasi tertinggi BOD₅ terjadi pada pengambilan keempat yang mencapai 157 mg/L. Selanjutnya BLH Kota Surabaya melakukan uji laboratorium kembali terhadap influen dan efluen rusunawa. Oleh karena saluran pipa inlet terhubung langsung menuju unit ABR, maka pengambilan sampel uji dilakukan pada titik pantau unit ABR. Berdasarkan informasi yang didapatkan oleh BLH Kota Surabaya, media batu koral pada unit biofilter anaerobik belum pernah diganti oleh pengelola IPAL rusunawa. Di samping itu, pengurasan IPAL Rusunawa Tanah Merah II diketahui telah dilaksanakan sebanyak dua kali hanya ketika kapasitas influen telah melampaui daya tampung unit ABR. Pergantian musim nampaknya ikut berpengaruh pada kualitas sampel uji yang diambil. Dengan demikian, evaluasi tidak hanya dilakukan pada kinerja IPAL tetapi juga cara pengoperasian dan pemeliharaan IPAL oleh pihak Rusunawa Tanah Merah II.

3.2 Unit Pengolahan Air Limbah

IPAL Rusunawa Tanah Merah II terdiri dari unit *anaerobic baffled reactor* (ABR) dan biofilter anaerobik bermedia batu koral pada tiap blok rusunawa. Masing-masing unit ABR terdiri dari lima kompartemen. Air limbah diolah pertama kali pada unit ABR yang kemudian dialirkan menuju unit biofilter anaerobik. Efluen dari outlet unit biofilter anaerobik langsung dialirkan pada saluran drainase di sekeliling gedung rusunawa. Pengaliran efluen menuju saluran drainase sebenarnya tidak disarankan karena dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan, perekonomian, dan kondisi lingkungan tempat tinggal penghuni rusunawa. Genangan air limbah pada saluran drainase terbuka dapat menjadi sarang nyamuk dan gangguan bau tidak sedap, serta mengurangi estetika rusunawa (Morel dan Diener, 2006). Diagram alir pengolahan air limbah Rusunawa Tanah Merah II dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan Air Limbah

3.2.1 Anaerobic Baffled Reactor

Air limbah dari setiap blok Rusunawa Tanah Merah II dialirkan menuju unit ABR melalui pipa inlet. Adapun unit ABR terdiri dari lima kompartemen dengan sembilan titik pantau (*manhole*). Unit ABR merupakan unit pengolahan pertama yang terhubung dengan pipa inlet. *Manhole* pertama dan kedua pada unit ABR pertama berfungsi sebagai *settler*. Pada *settler* ini hanya terdapat padatan lumpur tinja yang sama sekali tidak mengandung air. Berbeda dengan *manhole* ketiga pada kompartemen pertama yang terisi limbah cair dan sebagian kecil padatan. Padatan yang ikut tertampung pada kompartemen tersebut cenderung mengapung pada permukaan air limbah. Oleh karena influen dihubungkan melalui pipa tertutup, maka pengambilan sampel pada titik inlet dilakukan di *manhole* ketiga. Kondisi *manhole* ketiga yang mengandung limbah cair memungkinkan dilakukannya pengambilan sampel uji sebagai titik inlet. Unit ABR beserta pipa inlet ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Pipa Inlet dan Titik Pantau Unit ABR

Proses pengolahan air limbah pada unit ABR berlangsung secara anaerobik yang mana menghasilkan gas metana. Pengolahan ini menggunakan sistem pertumbuhan tersuspensi. Adapun dimensi tiap unit ABR pada masing-masing blok rusunawa ialah:

Panjang = 9,0 m
Lebar = 1,6 m

3.2.2 Biofilter Anaerobik

Unit terakhir pada pengolahan air limbah Rusunawa Tanah Merah II adalah biofilter anaerobik bermedia batu koral. Pada umumnya, unit biofilter anaerobik disebut juga sebagai unit filter anaerobik. Jumlah total unit biofilter anaerobik adalah dua unit yang masing-masing terletak di setiap blok Rusunawa Tanah Merah II. Efluen dari unit ABR untuk kemudian dialirkan secara gravitasi menuju unit biofilter anaerobik. Kedalaman unit biofilter anaerobik tidak dapat diukur secara manual dikarenakan permukaannya diplester, sehingga kedalamannya disesuaikan dengan kedalaman unit ABR. Adapun dimensi tiap unit biofilter anaerobik pada masing-masing blok rusunawa ialah:

Panjang = 1,6 m
Lebar = 1,3 m

Adapun Gambar 3.4 menunjukkan tampak atas unit biofilter anaerobik.



Gambar 3. 4 Tampak Atas Unit Biofilter Anaerobik

Efluen dari unit biofilter anaerobik untuk selanjutnya dialirkan melalui pipa outlet menuju parit di sekeliling gedung bangunan rusunawa. Gambar 3.5 menunjukkan pipa outlet IPAL Rusunawa Tanah Merah II. Gambar teknik bangunan unit ABR dan biofilter anaerobik dapat dilihat pada Lampiran D.

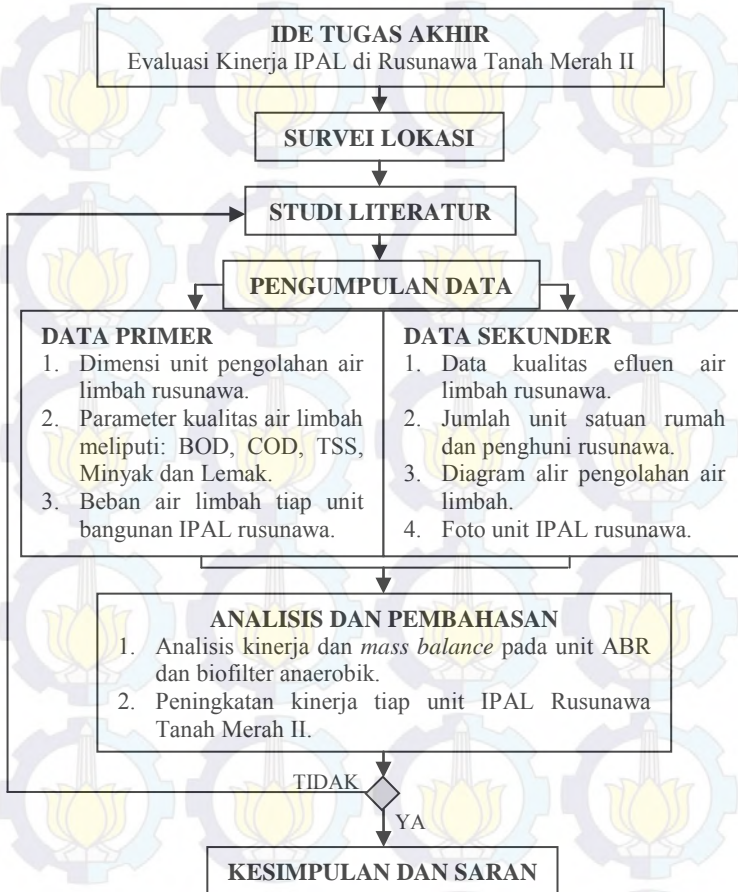


Gambar 3. 5 Pipa Outlet IPAL

BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Kerangka Penelitian

Penyusunan kerangka penelitian berfungsi sebagai acuan terstruktur selama penelitian berlangsung. Susunan kerangka penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kerangka Penelitian

4.2 Ide Tugas Akhir

Ide tugas akhir ini berawal dari ide dasar untuk melakukan evaluasi kinerja IPAL pada Rusunawa Tanah Merah II di Kota Surabaya. Sejak IPAL dioperasikan pada tahun 2009 hingga sekarang belum pernah ada studi khusus terkait kinerja unit IPAL Rusunawa Tanah Merah II. Unit IPAL yang dievaluasi meliputi ABR dan biofilter anaerobik bermedia batu koral. Ide tugas akhir selanjutnya ditindaklanjuti dengan survei lokasi untuk mendapatkan data sekunder.

4.3 Survei Lokasi

Pelaksanaan survei lokasi bertujuan untuk mengetahui kondisi fisik bangunan IPAL secara langsung. Selain itu, survei dilakukan untuk mendapatkan beberapa data sekunder dan informasi terkait unit IPAL dari pihak pengelola IPAL rusunawa. Dengan demikian, kajian terhadap permasalahan pada IPAL Rusunawa Tanah Merah II dapat dilakukan.

4.4 Studi Literatur

Tujuan dilakukannya studi literatur untuk mengkaji teori-teori yang mendasari ruang lingkup penelitian serta memperoleh prosedur-prosedur analisis yang menjadi acuan dalam penelitian ini, serta dapat menguatkan konsep-konsep penelitian. Selain itu, pengayaan pustaka terkait dengan kriteria desain, teori, inovasi maupun rumus perhitungan rancang bangun IPAL pun bisa didapatkan. Literatur pendukung berupa jurnal, diktat, laporan tugas akhir dan sumber pustaka lainnya akan digunakan sebagai dasar penulisan analisis dan pembahasan. Adapun sumber pustaka yang diperlukan pada penelitian ini meliputi sistem pengolahan air limbah, kriteria desain unit ABR dan biofilter anaerobik, baku mutu air limbah domestik, serta laporan penelitian terdahulu.

4.4.1 Sistem Pengolahan Air Limbah

Kualitas parameter air limbah dipengaruhi oleh sistem pengolahan yang dimiliki pada tiap unit IPAL rusunawa. Oleh

karena itu, faktor yang mempengaruhi kinerja evaluasi IPAL dapat dianalisis lebih lanjut.

4.4.2 Kriteria Desain Unit Pengolahan Air Limbah

Penjelasan mengenai unit pengolahan air limbah disesuaikan dengan kriteria desain tiap unit IPAL Rusunawa Tanah Merah II. Dengan mengetahui kriteria desain yang dipakai, analisis efisiensi removal kandungan organik dapat dilakukan.

4.4.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Baku mutu yang digunakan sebagai acuan dalam uji kualitas air limbah disesuaikan dengan Pergub Jatim No. 72 tahun 2013. Konsentrasi maksimum parameter kualitas air limbah domestik menurut baku mutu ditunjukkan pada Lampiran A. Maka dari itu, pernyataan mengenai layak atau tidaknya kualitas efluen IPAL Rusunawa Tanah Merah II dapat disimpulkan.

4.5 Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data dilakukan terhadap data primer dan data sekunder. Pengumpulan data baik primer maupun sekunder diawali dengan pelaksanaan survei lapangan pada IPAL Rusunawa Tanah Merah II Surabaya.

4.5.1 Data Primer

Pengumpulan data primer meliputi 3 tahapan yaitu tahapan persiapan, tahapan pelaksanaan, dan tahapan analisis sampel.

A. Tahapan Persiapan

1. Persiapan alat:
 - Botol sampling
 - Termometer
 - Alat analisis BOD, COD, TSS, serta Minyak dan Lemak (terlampir)
2. Persiapan bahan:
 - Es batu untuk pengawetan sampel

- Bahan kimia untuk analisis BOD, COD, TSS, serta Minyak dan Lemak (terlampir)

B. Tahapan Pelaksanaan

1. Personil pelaksana kegiatan ini adalah:
 - Pelaksana 1 orang
 - Pembimbing dan petugas lapangan 1 orang
2. Lokasi pelaksanaan kegiatan ini di IPAL Rusunawa Tanah Merah II Surabaya
3. Pengukuran dimensi luas permukaan dan kedalaman unit IPAL dilakukan 1 kali.
4. Pengambilan sampel dilakukan selama 1 bulan dengan rincian sebagai berikut:
 - Frekuensi pengambilan sampel ialah 1 kali setiap minggu
 - Pengukuran debit dilakukan pada outlet IPAL
 - Titik pengambilan sampel meliputi: inlet unit ABR, outlet unit ABR, dan outlet unit biofilter anaerobik
5. Parameter yang dianalisis meliputi BOD, COD, TSS, serta Minyak dan Lemak
6. Pemeriksaan kualitas sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, FTSP ITS Surabaya.

C. Tahapan Analisis Sampel

1. Prosedur pengambilan sampel
 - Menyiapkan botol kaca bersih yang telah dibilas dengan air akuades
 - Bilas botol kaca memakai air limbah yang akan diambil sebanyak 3 kali
 - Mengisi botol kaca dengan sampel hingga penuh lalu segera menutupnya
2. Prosedur pengawetan sampel
 - Pengawetan sampel dilakukan selama transportasi seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Cara Pengawetan Sampel

Analisis	Volume Minimum (mL)	Cara Pengawetan	Waktu Pengawetan Maksimum/ Batasan
BOD	1000	Didinginkan	6 jam/ 2 hari
COD	100	Ditambahkan H ₂ SO ₄ hingga pH < 2 lalu didinginkan	7 hari/ 28 hari
TSS	200	Didinginkan	7 hari/ 14 hari
Minyak dan Lemak	1000	Ditambahkan H ₂ SO ₄ hingga pH < 2 lalu didinginkan	28 hari/ 28 hari

Sumber: SNI 6989.59, 2008

3. Prosedur analisis kualitas sampel

Kualitas sampel dianalisis melalui 5 parameter yaitu BOD, COD, TSS, serta Minyak dan Lemak. Metode yang digunakan pada analisis kualitas sampel ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Metode Pengukuran Parameter Penelitian

No.	Parameter	Metode	Instrumen
1	BOD	Winkler	Winkler
2	COD	Refluks tertutup	Buret
3	TSS	Gravimetri	Neraca analitik
4	Minyak dan Lemak	Soxhlet	Labu soxhlet

Sumber: APHA, 2005

4.5.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperlukan tanpa melalui observasi ataupun penelitian langsung di lapangan. Adapun data sekunder yang didapatkan dalam penulisan tugas akhir ini meliputi:

1. Data kualitas efluen air limbah meliputi parameter BOD, TSS, Minyak dan Lemak, serta pH.

2. Jumlah unit satuan rumah dan penghuni Rusunawa Tanah Merah II.
3. Diagram alir pengolahan air limbah di Rusunawa Tanah Merah II.
4. Foto unit IPAL Rusunawa Tanah Merah II.

4.6 Analisis dan Pembahasan

Data primer dan data sekunder yang telah terkumpul kemudian dianalisis dan dibahas secara keseluruhan. Hasil analisis data dibandingkan dengan kriteria desain pada literatur studi dan disesuaikan dengan ruang lingkup penelitian. Analisis data dan pembahasan meliputi perhitungan, evaluasi terhadap kinerja, pengoperasian, dan pemeliharaan pada setiap unit IPAL. Dalam analisis dan pembahasan akan dilakukan beberapa hal sebagai berikut:

1. Analisis kinerja unit IPAL Rusunawa Tanah Merah II
 - a. Parameter kinerja unit ABR, meliputi:
 - Efisiensi removal
 - Beban organik
 - Hydraulic retention time
 - b. Parameter kinerja unit biofilter anaerobik, meliputi:
 - Efisiensi removal
 - Beban organik
2. Analisis *mass balance*

Berdasarkan kondisi eksisting, analisis *mass balance* dilakukan sebagai acuan dalam menentukan rekomendasi perbaikan. Perhitungan *mass balance* dilakukan pada setiap unit biologis yang berarti pada kedua unit IPAL Rusunawa Tanah Merah II.
3. Alternatif peningkatan kinerja tiap unit IPAL rusunawa

Hasil kajian parameter kinerja dan *mass balance* tiap unit IPAL rusunawa akan digunakan untuk menganalisis permasalahan ataupun kendala yang ada. Permasalahan

tersebut tentunya merupakan penyebab kurang optimalnya kerja tiap unit IPAL dalam mengolah air limbah. Dengan demikian, alternatif peningkatan kinerja tiap unit IPAL dapat menjadi suatu rekomendasi sebagai saran dan masukan bagi pihak pengelola Rusunawa Tanah Merah II. Rekomendasi tidak hanya terhadap peningkatan efisiensi removal organik pada tiap unit IPAL, namun juga mencakup pengoperasian dan pemeliharaan masing-masing unit IPAL rusunawa.

4.7 Kesimpulan dan Saran

Melalui serangkaian proses dan prosedur metodologi penelitian, selanjutnya ditentukan suatu kesimpulan. Isi kesimpulan setidaknya bersifat singkat dan praktis namun memuat hasil pembahasan secara keseluruhan.

Saran yang diberikan dalam penelitian ini meliputi alternatif rekomendasi pemecahan masalah terkait kinerja tiap unit IPAL. Selain itu, saran dapat pula berupa bahan pertimbangan maupun masukan bagi pihak pengelola dan penanggung jawab IPAL Rusunawa Tanah Merah II.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Uraian tentang analisis kinerja unit operasi dan unit proses yang digunakan pada IPAL Rusunawa Tanah Merah II Surabaya akan dijelaskan pada bab ini. Analisis yang dimaksud ialah membandingkan kondisi eksisting unit IPAL terhadap kriteria desain. Baik masalah teknis maupun non teknis akan dianalisis pada setiap unit operasi yang terdiri atas unit ABR dan unit biofliter bermedia batu koral. Hasil analisis tersebut diharapkan dapat menyimpulkan efektifitas kinerja unit tersebut.

5.2 Perhitungan Debit Air Limbah

Jenis air limbah yang diolah pada IPAL Rusunawa Tanah Merah II merupakan *greywater* dan *blackwater*. Sumber air limbah jenis *greywater* berasal dari kegiatan mandi, cuci, dan dapur, sedangkan *blackwater* berasal dari kakus. IPAL Rusunawa Tanah Merah II tidak dilengkapi dengan *flowmeter*, sehingga debit air limbah yang dihasilkan tidak dapat diketahui. Oleh karena itu, dilakukanlah perhitungan debit air limbah tiap blok Rusunawa Tanah Merah II sebagai berikut:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Jumlah lantai/blok | = 4 lantai/blok |
| 2. Jumlah rumah/lantai | = 24 unit rumah/lantai |
| 3. Total satuan rumah | = 4 lt/blok x 24 unit/lt
= 96 unit rumah |
| 4. Jumlah Kepala Keluarga (KK) | = 96 KK |
| 5. Jumlah penghuni/KK | = 4 orang/KK |
| 6. Total penghuni | = 96 KK x 4 orang/KK
= 384 orang |
| 7. Kebutuhan air bersih | = 0,121 m ³ /orang.hari |
| 8. Persentase limbah cair | = 80% dari air bersih |
| 9. Volume limbah cair | = 80% x 0,121 m ³ /orang.hari
= 0,097 m ³ /orang.hari |
| 10. Debit rata-rata (Q_{ave}) | = 384 org x 0,097 m ³ /org.hari
= 37,1 m ³ /hari |

11. Faktor hari maksimum (f_{hm}) = 0,00043 m³/detik
= 1,3
12. Debit hari maksimum (Q_{hm}) = $Q_{ave} \times f_{hm}$
= 0,00043 m³/detik x 1,3
= 0,00056 m³/detik
13. Faktor jam puncak (f_{jp}) = 1,7
14. Debit jam puncak (Q_{jp}) = $Q_{ave} \times f_{jp}$
= 0,00043 m³/detik x 1,7
= 0,00073 m³/detik

Berdasarkan perhitungan debit di atas, didapatkanlah rekapitulasi data debit air limbah Rusunawa Tanah Merah II pada masing-masing blok sebagai berikut:

- Debit rata-rata (Q_{ave}) = 0,00043 m³/detik
- Debit hari maksimum (Q_{hm}) = 0,00056 m³/detik
- Debit jam puncak (Q_{jp}) = 0,00073 m³/detik

5.3 Data Analisis Primer

Melalui uji parameter kualitas air limbah IPAL Rusunawa Tanah Merah II, didapatkanlah data primer. Data hasil analisis primer selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi kinerja masing-masing unit pengolahan air limbah dalam meremoval kandungan pencemar organiknya. Rusunawa Tanah Merah II terdiri dari dua blok yang mana tiap blok memiliki satu rangkaian IPAL yaitu satu unit ABR dan satu unit biofilter anaerobik. Adapun uji kualitas air limbah dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS. Adapun parameter yang dianalisis yaitu BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak (*oil and grease*), serta pH. Pengambilan sampel yang dilanjutkan dengan pengujian kualitas air limbah dilakukan selama satu bulan. Frekuensi pengambilan sampel sebanyak empat kali yang mana berlangsung satu kali setiap minggunya. Rincian jadwal pengambilan sampel uji ditunjukkan berikut ini:

1. Pengukuran ke-I pada 15 April 2014 pukul 07.00 WIB
2. Pengukuran ke-II pada 22 April 2014 pukul 07.00 WIB
3. Pengukuran ke-III pada 29 April 2014 pukul 07.00 WIB
4. Pengukuran ke-IV pada 6 Mei 2014 pukul 07.00 WIB

Sketsa letak titik pengambilan sampel pada unit ABR dan biofilter anaerobik ditunjukkan pada Lampiran D. Beberapa kode sampel uji yang dipakai disesuaikan dengan letak titik sampling dengan penjelasan berikut:

- Kode A/ D : titik inlet unit ABR blok 1/ blok 2
- Kode B/ E : titik outlet unit ABR blok 1/ blok 2
- Kode C/ F : titik outlet unit biofilter anaerobik blok 1/ 2

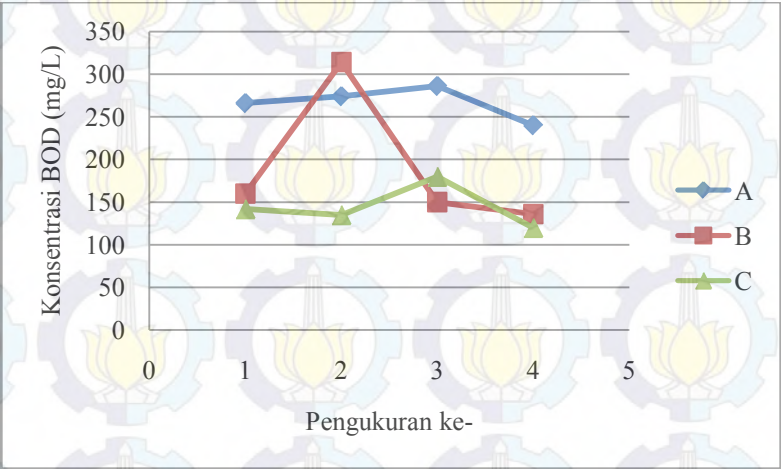
Baku mutu kualitas air limbah pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran A. Parameter uji kualitas sampel air limbah Rusunawa Tanah Merah II disesuaikan dengan parameter yang tercantum pada Pergub Jatim No. 72 tahun 2013. Data hasil uji kualitas sampel pada kedua unit IPAL ditunjukkan dalam tabel dilengkapi dengan grafik linearnya.

5.3.1 Analisis Parameter BOD

Parameter BOD menyatakan jumlah oksigen biologis yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi pencemar organik. Oleh karena degradasi berlangsung secara biologis, maka hanya pencemar *biodegradable* saja yang akan terurai. Nilai BOD menunjukkan jumlah konsentrasi oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme selama degradasi berlangsung. Dapat dikatakan bahwa nilai BOD setara dengan besar konsentrasi pencemar organik dalam air limbah. Data hasil analisis parameter BOD pada sampel uji IPAL blok 1 terdapat pada Tabel 5.1 beserta grafik linearnya pada Gambar 5.1.

Tabel 5. 1 Data Hasil Analisis BOD IPAL Blok 1

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
A	266	274	286	240	30
B	160	314	150	136	
C	142	135	180	120	

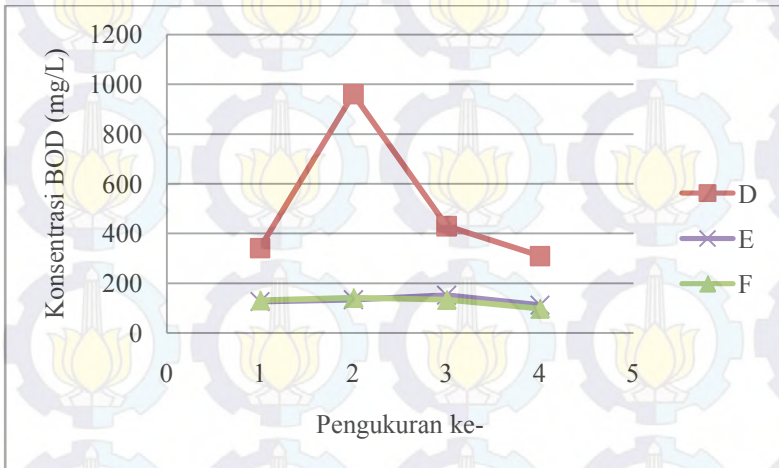


Gambar 5. 1 Grafik Analisis BOD IPAL Blok 1

Gambar 5.1 menunjukkan adanya peningkatan grafik B pada pengukuran ke-2. Secara prinsip, semua fase pencernaan anaerobik dapat terjadi secara serempak di setiap kompartemen (Foxon *et al.*, 2006). Terjadinya peningkatan konsentrasi BOD pada kompartemen akhir unit ABR diduga karena sedang berlangsungnya fase hidrolisis terhadap senyawa kompleks. Oleh karena itu, senyawa organik yang terhidrolisis ikut teruji dan terhitung dalam analisis BOD. Selanjutnya data hasil analisis parameter BOD untuk sampel uji IPAL blok 2 ditunjukkan pada Tabel 5.2 dan disertai dengan grafik linearnya pada Gambar 5.2.

Tabel 5. 2 Data Hasil Analisis BOD IPAL Blok 2

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
D	342	960	430	310	30
E	126	134	152	112	
F	132	142	134	98	



Gambar 5. 2 Grafik Analisis BOD IPAL Blok 2

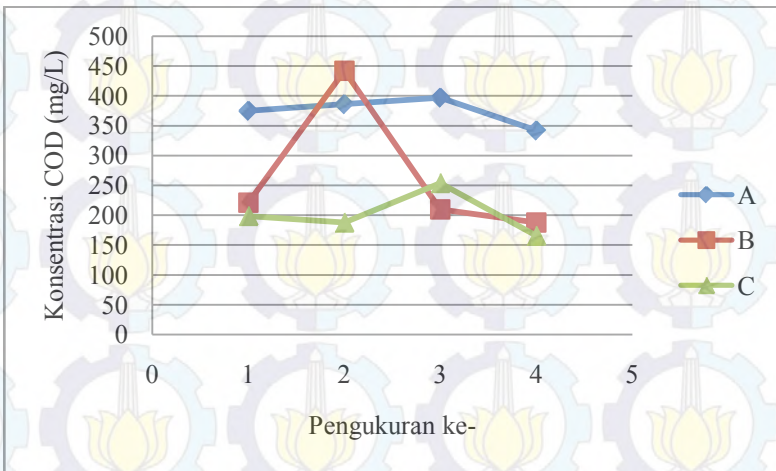
Gambar 5.2 menunjukkan penurunan konsentrasi BOD pada unit ABR dan biofilter anaerobik sebagaimana mestinya terjadi secara berurutan. Adapun grafik E dan F yang terlihat sejajar mengindikasikan kecilnya efisiensi removal terhadap parameter BOD pada unit biofilter anaerobik. Secara keseluruhan, data analisis BOD pada efluen IPAL di kedua blok rusunawa belum memenuhi baku mutu parameter BOD sebesar 30 mg/L.

5.3.2 Analisis Parameter COD

Parameter COD menyatakan kebutuhan jumlah oksigen kimiawi untuk mendegradasi pencemar organik. Degradasi bahan organik terjadi dalam proses oksidasi. Adapun oksidator kuat yang dipakai untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah adalah larutan $K_2Cr_2O_7$ (kalium dikromat). Data hasil analisis parameter COD pada sampel uji IPAL blok 1 dapat dilihat pada Tabel 5.3. Berikut disertai pula grafik analisis konsentrasi COD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3.

Tabel 5. 3 Data Hasil Analisis COD IPAL Blok 1

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
A	375	386	397	342	50
B	221	442	210	188	
C	199	188	254	166	

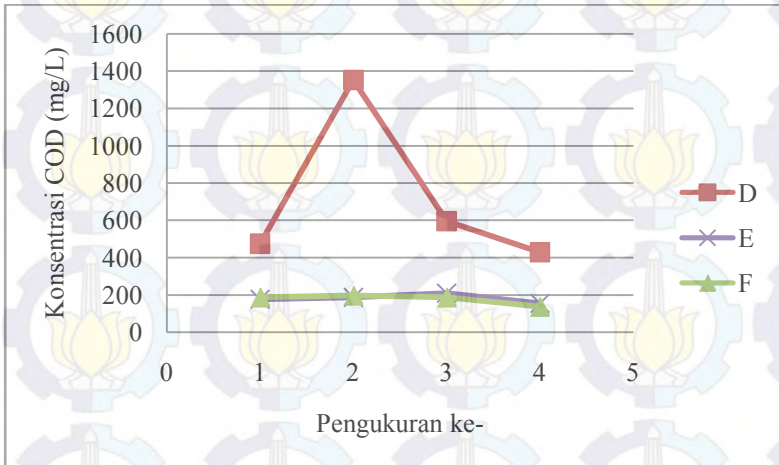
**Gambar 5. 3 Grafik Analisis COD IPAL Blok 1**

Gambar 5.3 menunjukkan pula adanya peningkatan grafik B pada pengukuran ke-2. Pada kompartemen pertama, hidrolisis dan asidifikasi terjadi secara dominan dan menyebabkan akumulasi *volatile fatty acids* (VFA) dalam bentuk asam asetat dan COD terlarut (Foxon *et al.*, 2006). Kondisi tersebut akan menurunkan nilai pH dan menghambat berlangsungnya fase metanogenesis. Hal inilah yang menjadi dugaan bahwa senyawa VFA belum terdegradasi sempurna, tetapi justru ikut terbawa hingga menuju kompartemen terakhir unit ABR. Sebagai akibatnya, senyawa VFA tersebut ikut terhitung dan teruji dalam analisis COD. Selanjutnya data hasil analisis parameter COD untuk sampel uji

IPAL blok 2 ditunjukkan pada Tabel 5.4 dan disertai dengan grafik linearnya pada Gambar 5.4.

Tabel 5. 4 Data Hasil Analisis COD IPAL Blok 2

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
D	475	1352	596	430	50
E	177	188	210	155	
F	188	198	188	138	



Gambar 5. 4 Grafik Analisis COD IPAL Blok 2

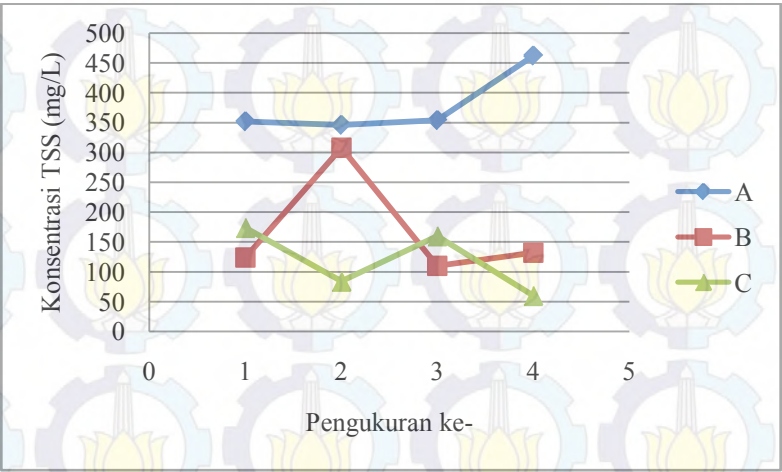
Gambar 5.4 menunjukkan penurunan konsentrasi COD pada unit ABR dan biofilter anaerobik sebagaimana mestinya terjadi secara berurutan. Adapun grafik E dan F yang terlihat sejajar mengindikasikan kecilnya efisiensi removal terhadap parameter COD pada unit biofilter anaerobik. Secara keseluruhan, data analisis COD pada efluen IPAL di kedua blok rusunawa belum memenuhi baku mutu parameter COD sebesar 50 mg/L.

5.3.3 Analisis Parameter TSS

Parameter TSS mengindikasikan total padatan tersuspensi yang terkandung dalam air limbah. Konsentrasi TSS tertinggi pada *greywater* berasal dari kegiatan dapur dan cuci (Del Porto dan Steinfeld, 1999). Konsentrasi padatan tersuspensi pada air limbah domestik sangat tergantung pada jumlah air yang digunakan (Ledin *et al.*, 2001). Data hasil analisis parameter TSS pada sampel uji dari IPAL blok 1 dapat dilihat pada Tabel 5.5 yang disertai dengan grafik analisisnya pada Gambar 5.5.

Tabel 5. 5 Data Hasil Analisis TSS IPAL Blok 1

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
A	352	346	354	462	50
B	124	308	110	132	
C	174	84	160	60	



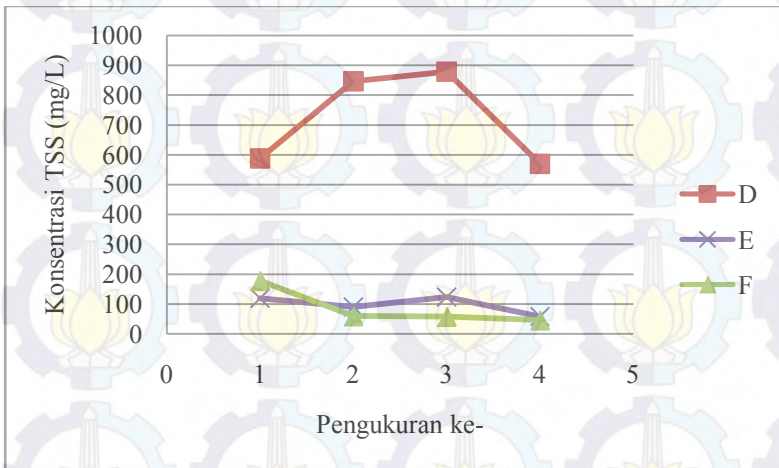
Gambar 5. 5 Grafik Analisis TSS IPAL Blok 1

Gambar 5.5 mengindikasikan konsentrasi TSS cenderung fluktuatif, meskipun efisiensi removal dapat terjadi secara

bertahap pada setiap unit pengolahan. Konsentrasi TSS sangat dipengaruhi oleh aktivitas penghuni rusunawa dan berkaitan erat dengan konsentrasi BOD. Pada air limbah domestik, konsentrasi BOD diperkirakan sebesar 33% berasal dari padatan *settleable*, 50% dari padatan terlarut, dan 17% dari padatan *non-settleable* (Sasse, 1998). Selanjutnya data hasil analisis parameter TSS untuk sampel uji IPAL blok 2 ditunjukkan pada Tabel 5.6 dan disertai dengan grafik linearnya pada Gambar 5.6.

Tabel 5. 6 Data Hasil Analisis TSS IPAL Blok 2

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
D	588	846	878	570	50
E	120	90	124	58	
F	178	60	58	46	



Gambar 5. 6 Grafik Analisis TSS IPAL Blok 2

Gambar 5.6 menunjukkan penurunan konsentrasi TSS pada unit ABR dan biofilter anaerobik sebagaimana mestinya terjadi berurutan. Grafik E dan F terlihat sejajar mengindikasikan

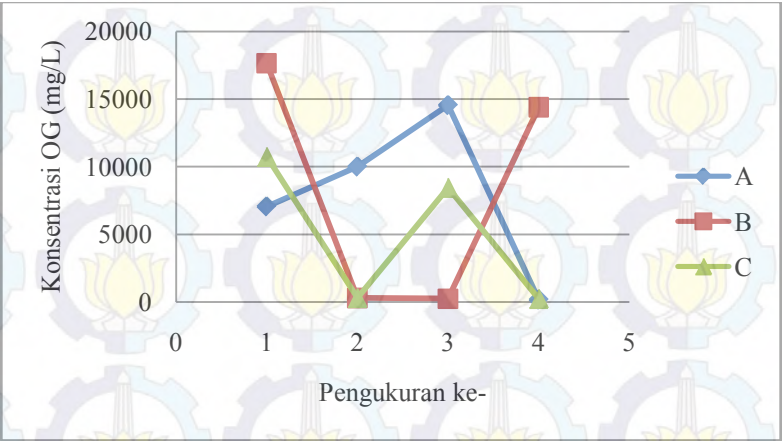
kecilnya nilai efisiensi removal terhadap parameter TSS pada unit biofilter anaerobik. Hasil data keseluruhan analisis TSS pada efluen IPAL di kedua blok rusunawa belum memenuhi baku mutu parameter TSS sebesar 50 mg/L.

5.3.4 Analisis Parameter Minyak dan Lemak

Data hasil analisis parameter Minyak Lemak pada sampel uji dari IPAL blok 1 dapat dilihat pada Tabel 5.7, sedangkan grafik analisisnya ditunjukkan pada Gambar 5.7.

Tabel 5. 7 Data Hasil Analisis Minyak Lemak IPAL Blok 1

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
A	7060	10000	14540	176	10
B	17636	304	252	14388	
C	10732	300	8448	232	



Gambar 5. 7 Grafik Analisis Minyak Lemak IPAL Blok 1

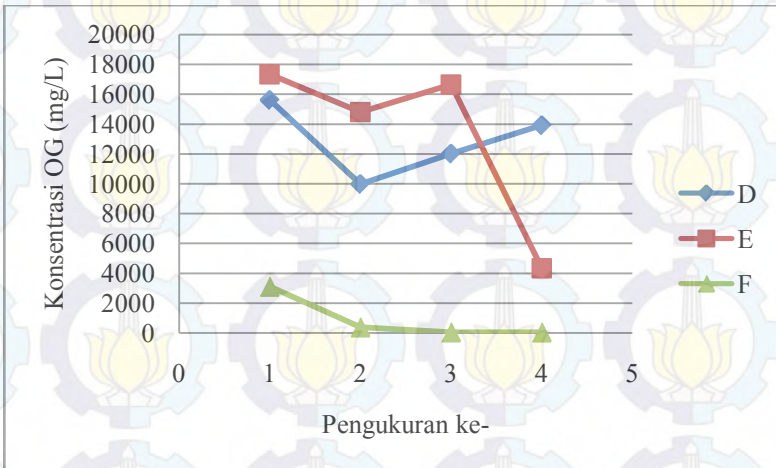
Gambar 5.7 mengindikasikan konsentrasi minyak dan lemak cenderung fluktuatif. Sebesar 25-40% dari total COD pada air limbah terukur sebagai senyawa minyak dan lemak

(Quemeneur & Marty, 1994). Noutsopoulos et al. (2013) menyebutkan bahwa fraksi terbesar senyawa lipid pada air limbah terdapat dalam bentuk trigliserida dan LCFA (*long chain fatty acid*). Trigliserida terhidrolisis menjadi LCFA dan gliserol yang selanjutnya gliserol terdegradasi menjadi asetat. Sedangkan LCFA terdegradasi menjadi asetat maupun propionat, hidrogen, dan karbondioksida. Pada pengukuran pertama dan keempat terdapat kesamaan yaitu peningkatan konsentrasi minyak dan lemak di kompartemen terakhir unit ABR. Hal ini diduga karena adanya LCFA dari proses hidrolisis senyawa trigliserida yang ikut terhitung dan teruji dalam analisis minyak dan lemak.

Di samping itu, konsentrasi minyak dan lemak dalam jumlah besar dapat menjadi kontaminan bagi mikroorganisme. Berbeda pada pengukuran ketiga, peningkatan konsentrasi minyak dan lemak terjadi pada outlet biofilter anaerobik. Meskipun biofilter anaerobik menggunakan sistem terlekat, namun proses pengolahan berlangsung serupa pada unit ABR. Dengan demikian, dugaan serupa adanya peningkatan senyawa LCFA lah yang menyebabkan konsentrasi minyak dan lemak justru meningkat pada outlet biofilter anaerobik. Selanjutnya data hasil analisis parameter minyak dan lemak untuk sampel uji IPAL blok 2 ditunjukkan pada Tabel 5.8 dan disertai dengan grafik linearnya pada Gambar 5.8.

Tabel 5. 8 Data Hasil Analisis Minyak Lemak IPAL Blok 2

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
D	15620	9980	12016	13916	10
E	17340	14816	16652	4352	
F	3116	392	60	56	



Gambar 5. 8 Grafik Analisis Minyak Lemak IPAL Blok 2

Tidak berbeda dengan IPAL blok 1, Gambar 5.7 mengindikasikan konsentrasi minyak dan lemak pada IPAL blok 2 cenderung fluktuatif pula. Pada pengukuran pertama hingga ketiga diketahui terjadi peningkatan konsentrasi minyak dan lemak di kompartemen terakhir unit ABR. Hal ini diduga karena adanya LCFA dari proses hidrolisis senyawa trigliserida yang ikut terhitung dan teruji dalam analisis minyak dan lemak. Secara keseluruhan, data analisis minyak dan lemak pada efluen IPAL di kedua blok rusunawa belum memenuhi baku mutu parameter minyak dan lemak sebesar 10 mg/L.

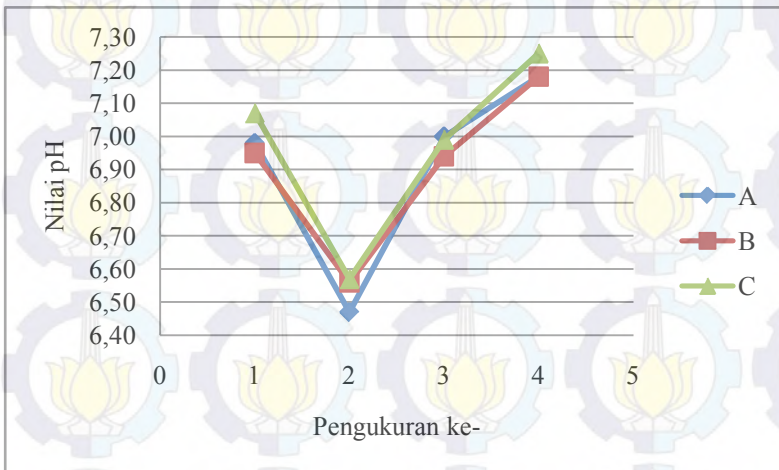
5.3.5 Analisis Parameter pH

Parameter pH mengindikasikan sifat air limbah dalam hal tingkat keasaman dan kebasaannya. Kling (2007) menyatakan bahwa parameter pH menjadi sangat penting karena keterkaitannya dengan kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan keberadaan mikroorganisme. Berkaitan dengan proses, nilai pH dipengaruhi oleh keberlangsungan fase pencernaan anaerobik. Penurunan nilai pH diketahui sebagai akibat fase hidrolisis sedang berlangsung di dalam reaktor yang menghasilkan senyawa

VFA. Akumulasi VFA akan menyebabkan nilai pH semakin kecil dan berdampak pada kelangsungan hidup mikroorganisme (Foxon *et al.*, 2006). Degradasi pencemar organik secara biologis dapat tercapai bila nilai pH berada dalam kisaran 6-9. Data hasil analisis parameter pH pada sampel uji dari IPAL blok 1 dapat dilihat pada Tabel 5.9 disertai dengan grafik analisisnya pada Gambar 5.9.

Tabel 5. 9 Data Hasil Analisis pH IPAL Blok 1

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
A	6,98	6,47	7,00	7,18	6-9
B	6,95	6,56	6,94	7,18	
C	7,07	6,57	6,99	7,25	



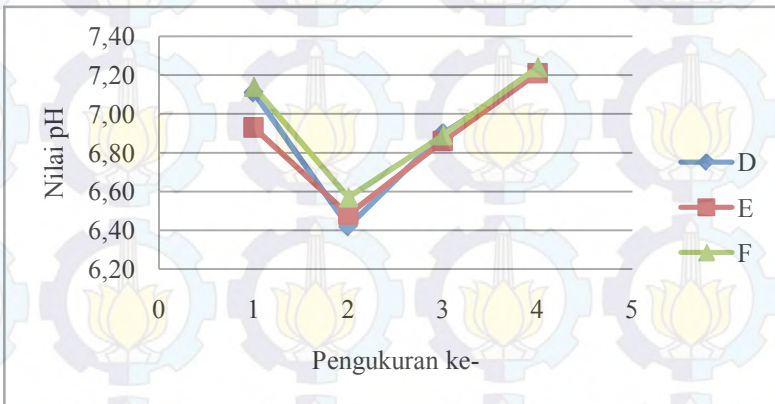
Gambar 5. 9 Grafik Analisis pH IPAL Blok 1

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa grafik A, B, dan C terlihat sejajar satu sama lain. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan nilai pH selama proses pengolahan berlangsung di kedua unit IPAL blok 1 tidak berbeda jauh. Data hasil analisis menunjukkan bahwa nilai pH telah memenuhi baku mutu dalam

rentang 6-9. Selanjutnya data hasil analisis parameter pH untuk sampel uji IPAL blok 2 ditunjukkan pada Tabel 5.10 dan disertai dengan grafik linearnya pada Gambar 5.10.

Tabel 5. 10 Data Hasil Analisis pH IPAL Blok 2

Titik Uji	Pengukuran ke-				Baku Mutu
	I	II	III	IV	
D	7,11	6,42	6,90	7,21	6-9
E	6,93	6,48	6,86	7,21	
F	7,14	6,57	6,89	7,24	



Gambar 5. 10 Grafik Analisis pH IPAL Blok 2

Gambar 5.10 pun serupa dengan Gambar 5.9 yang menunjukkan grafik A, B, dan C terlihat sejajar satu sama lain. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan nilai pH selama proses pengolahan berlangsung di kedua unit IPAL blok 2 tidak berbeda jauh. Data hasil analisis menunjukkan pula bahwa nilai pH telah memenuhi baku mutu dalam rentang 6-9. Henze et al. (1997) menjelaskan bahwa nilai pH yang dapat diterima di setiap proses pengolahan biologis optimumnya berada pada kisaran $6 < \text{pH} < 8$. Kisaran nilai pH terbaik untuk fase asidogenesis adalah $5,5 < \text{pH}$

$< 6,5$ dan untuk fase metanogenesis adalah $7,8 < \text{pH} < 8,2$. Penurunan nilai pH akan menghambat aktivitas bakteri metanogen dan menyebabkan terjadinya akumulasi VFA dan hidrogen (H_2). Unsur hidrogen akan menghasilkan tekanan parsial dalam reaktor menghambat aktivitas bakteri pendegradasi asam propionat. Kondisi ini selanjutnya menyebabkan akumulasi VFA dalam bentuk asam propionat dan butirat. Sebagai akibatnya, nilai pH akan menurun drastis dan menciptakan suasana asam dalam reaktor. Pada akhirnya, fase metanogenesis akan terhambat bahkan tidak terjadi sama sekali. Namun demikian, penggunaan bahan kimia dalam menanggulangi kondisi asam tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan NaHCO_3 , NaOH , Na_2CO_3 , CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ataupun NH_3 sebagai upaya meningkatkan nilai pH.

5.4 Anaerobic Baffled Reactor

Unit ABR merupakan unit pengolahan pertama di Rusunawa Tanah Merah II yang dimiliki oleh setiap blok. Tiap unit ABR terdiri dari lima kompartemen yang dilengkapi dengan *manhole* pada setiap kompartemennya. Air limbah campuran *blackwater* dan *greywater* secara langsung dialirkan menuju unit ABR melalui saluran pipa. *Manhole* pertama dan kedua berfungsi sebagai unit *settlement* yang hanya berisi padatan lumpur tinja. Oleh karena itu, pengambilan sampel uji sebagai titik inlet unit ABR terletak di *manhole* ketiga. Sedangkan letak titik outlet ABR terletak di *manhole* terakhir, yaitu kompartemen kelima. Evaluasi kinerja unit ABR dilakukan terhadap efisiensi removal pencemar organik pada IPAL masing-masing blok. Selanjutnya evaluasi dilakukan terhadap unit proses pada kondisi eksisting yang disesuaikan dengan kriteria desain unit ABR.

5.4.1 Efisiensi Removal Unit ABR

Data analisis laboratorium terhadap parameter uji digunakan untuk menghitung efisiensi penyisihan BOD, COD, TSS, serta Minyak dan Lemak di dalam unit ABR. Rumus

perhitungan efisiensi removal organik pada unit ABR ditunjukkan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\%$$

dengan keterangan:

a = konsentrasi parameter pencemar awal/ influen (mg/L),

b = konsentrasi parameter pencemar akhir/ efluen (mg/L).

Selanjutnya hasil perhitungan efisiensi removal parameter BOD ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal BOD

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 1	I	266	160	40%
	II	274	314	0%
	III	286	150	48%
	IV	240	136	43%
Blok 2	I	342	126	63%
	II	960	134	86%
	III	430	152	65%
	IV	310	112	64%

Tabel 5.11 menunjukkan kisaran nilai persentase removal BOD pada IPAL blok 1 mencapai 40-48%. Sedangkan pada IPAL blok 2 mencapai 63-86%. Selanjutnya hasil perhitungan efisiensi removal parameter COD ditunjukkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal COD

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 1	I	375	221	41%
	II	386	442	0%

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 2	III	397	210	47%
	IV	342	188	45%
	I	475	177	63%
	II	1352	188	86%
	III	596	210	65%
	IV	430	155	64%

Tabel 5.12 menunjukkan kisaran nilai persentase removal COD pada IPAL blok 1 mencapai 41-47%. Sedangkan pada IPAL blok 2 mencapai 63-86%. Selanjutnya hasil perhitungan efisiensi removal parameter TSS ditunjukkan pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 13 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal TSS

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 1	I	352	124	65%
	II	346	308	11%
	III	354	110	69%
	IV	462	132	71%
Blok 2	I	588	120	80%
	II	846	90	89%
	III	878	124	86%
	IV	570	58	90%

Berdasarkan Tabel 5.13 didapatkan kisaran nilai persentase removal TSS pada IPAL blok 1 adalah 11-71%. Sedangkan pada IPAL blok 2, kisaran nilai persentase removal TSS mencapai 80-90%. Lalu hasil perhitungan efisiensi removal parameter Minyak Lemak (OG) ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal OG

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 1	I	7060	17636	0%
	II	10000	304	97%
	III	14540	252	98%
	IV	176	14388	0%
Blok 2	I	15620	17340	0%
	II	9980	14816	0%
	III	12016	16652	0%
	IV	13916	4352	69%

Berdasarkan Tabel 5.14 didapatkan kisaran nilai persentase removal OG adalah 97-98%. Sedangkan pada IPAL blok 2, kisaran nilai persentase removal OG mencapai 69%. Shirish *et al.* (2009) menyatakan bahwa kemampuan unit ABR dalam menyisihkan konsentrasi pencemar organik sebenarnya sangat efektif.

5.4.2 Analisis Parameter Kinerja Unit ABR

Influen yang dialirkan melalui pipa inlet langsung menuju ke unit ABR secara gravitasi. Adapun parameter kinerja tiap unit ABR pada kedua blok disesuaikan dengan kriteria desain. Beberapa kriteria desain unit ABR meliputi:

1. Removal COD : 65-90%
2. Removal BOD : 70-95%
3. Beban organik : < 3 kg COD/m³.hari
4. *Hydraulic retention time* : > 8 jam
5. *Upflow velocity* : < 2 m/jam
(Sasse, 1998)
6. Removal TSS : 40-70%
(Purwanto, 2004)

Pembahasan mengenai parameter kinerja unit ABR pada kedua blok meliputi beban organik, lama *hydraulic retention time*, dan kecepatan aliran *upflow*. Hasil perhitungan ketiga parameter disajikan dalam tabel. Adapun data influen dan rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai ketiga parameter tersebut dijelaskan sebagai berikut:

Data influen menuju unit ABR:

$$\begin{aligned}\text{Debit rerata (Q}_{\text{ave}}) &= 0,00043 \text{ m}^3/\text{detik} = 37,20 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Panjang} &= 9,0 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 1,6 \text{ m} \\ \text{Kedalaman} &= 2,0 \text{ m} \\ \text{Volume} &= (9,0 \times 1,6 \times 2,0) \text{ m}^3 \\ &= 28,8 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Hasil perhitungan beban organik pada unit ABR ditunjukkan dalam Tabel 5.15 dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Beban organik (OLR)} = \frac{Q_{\text{ave}} \cdot S_o}{\text{Volume ABR}}$$

Nilai S_o merupakan besar konsentrasi parameter COD pada influen air limbah rusunawa.

Tabel 5. 15 Hasil Perhitungan Beban Organik Unit ABR

Blok	Pengukuran ke-	So	Qave	Volume ABR	OLR
		mg COD/L	m ³ /hari	m ³	kg COD/m ³ .hari
1	I	375	37,20	28,80	0,48
	II	386	37,20	28,80	0,50
	III	397	37,20	28,80	0,51
	IV	342	37,20	28,80	0,44
2	I	475	37,20	28,80	0,61
	II	1352	37,20	28,80	1,75
	III	596	37,20	28,80	0,77
	IV	430	37,20	28,80	0,56

Berdasarkan Tabel 5.15 dapat dilihat bahwa beban organik pada unit ABR di kedua blok telah memenuhi kriteria desain yaitu $< 3 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$. Namun demikian beban organik unit ABR pada blok 2 cenderung lebih fluktuatif bila dibandingkan dengan beban organik unit ABR pada blok 1. Selanjutnya analisis parameter kinerja dilakukan terhadap nilai HRT unit ABR di kedua blok. Nilai HRT perlu diperhatikan karena proses pengolahan pada unit ABR berlangsung secara biologis. Adapun perhitungan nilai HRT menggunakan rumus perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{HRT (jam)} &= \frac{\text{volume reaktor}}{Q_{ave}} \\ &= \frac{28,80 \text{ m}^3}{37,20 \text{ m}^3/\text{hari}} \\ &= 18,58 \text{ jam} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai HRT unit ABR pada kedua blok telah memenuhi kriteria desain yaitu $> 8 \text{ jam}$. Berikutnya analisis parameter kinerja dilakukan terhadap kecepatan aliran air limbah pada unit ABR. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 5.16 dengan rumus perhitungan berikut:

$$V\text{-up (m/jam)} = \frac{Q_{ave}}{As \text{ kompartemen}}$$

Tabel 5. 16 Hasil Perhitungan Kecepatan Upflow Unit ABR

Kompartemen	Panjang	Lebar	As kompartemen	Qave	V-up
	m		m ²	m ³ /hari	m/jam
Settler	1,80	1,60	2,88	37,20	0,54
1	1,08	1,60	1,73	37,20	0,90
2	1,22	1,60	1,95	37,20	0,79
3	1,09	1,60	1,74	37,20	0,89
4	1,22	1,60	1,95	37,20	0,79
5	0,99	1,60	1,58	37,20	0,98

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kecepatan aliran *upflow* pada seluruh kompartemen telah memenuhi kriteria desain yaitu < 2 m/jam.

5.4.3 Hasil Analisis Kinerja Unit ABR

Dari hasil perhitungan analisis parameter kinerja unit ABR, maka dapat disajikan hasil analisis tersebut dalam Tabel 5.17. Tujuan daripada pembuatan tabel untuk meringkas dan mempermudah dalam menganalisis pemberian solusi selanjutnya.

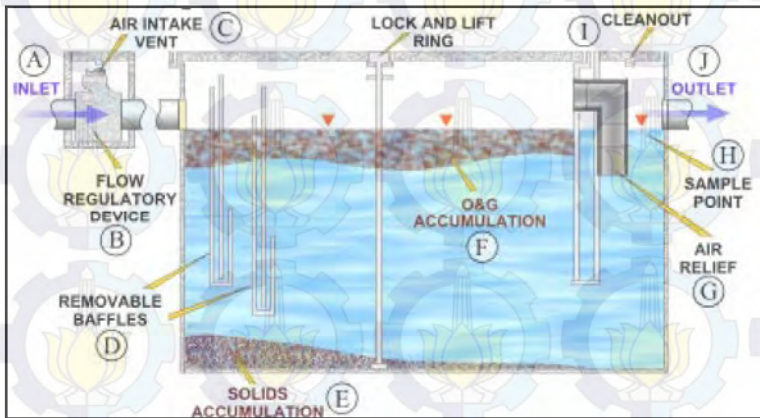
Tabel 5. 17 Hasil Analisis Kinerja Unit ABR

No.	Parameter	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain	Keterangan
1	Removal COD	ABR blok 1 41-47%	65-90%	Belum sesuai
		ABR blok 2 63-86%		Sesuai
2	Removal BOD	ABR blok 1 40-48%	70-95%	Belum sesuai
		ABR blok 2 63-86%		Sesuai
3	Removal TSS	ABR blok 1 11-71%.	40-70%	Sesuai
		ABR blok 2 80-90%		Sesuai
4	Removal Minyak dan Lemak	ABR blok 1 mencapai 98%.	-	-
		ABR blok 2 mencapai 69%		-
5	Beban organik	ABR blok 1 0,44-0,51 kg COD/m ³ .hari	< 3 kg COD/m ³ . hari	Sesuai
		ABR blok 2 0,56-1,75 kg COD/m ³ .hari		Sesuai
6	HRT	18,58 jam	> 8 jam	Sesuai
7	V- <i>upflow</i>	0,79-0,98 m/jam.	< 2 m/jam	Sesuai

Hasil analisis parameter kinerja pada kondisi eksisting unit ABR secara umum telah memenuhi kriteria desain. Hanya saja ketidaksesuaian terhadap kriteria desain terjadi pada removal COD dan BOD di blok 1. Kecilnya efisiensi removal dapat disebabkan oleh kurang sempurnanya proses pengolahan biologis anaerobik. Beberapa faktor yang mempengaruhi unit proses meliputi pH, suhu, nutrien, dan kontaminan. Pencapaian kondisi yang kurang bahkan tidak menguntungkan mikroorganisme dapat mempengaruhi proses degradasi biologis dan mengurangi efisiensi removal pencemar organik.

Bila memperhatikan Tabel 5.7 dan 5.8, konsentrasi minyak dan lemak pada influen ABR terdapat dalam jumlah yang besar. Ledin *et al.* (2001) menyatakan bahwa air limbah *greywater* dari kegiatan dapur menyumbang kadar minyak dan lemak terbesar dibandingkan dengan kegiatan rumah tangga lainnya. Sama halnya pada Rusunawa Tanah Merah II, sisa makanan dan minyak penggorengan dari kegiatan dapur diduga ikut terbuang pada bak cuci piring. Kondisi inilah yang menyebabkan influen pada unit ABR mengandung minyak dan lemak tinggi. Aymong (2007) menjelaskan bahwa keberadaan minyak dan lemak pada unit pengolahan dalam jumlah berlebihan justru berperan sebagai kontaminan bagi mikroorganisme. Aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi polutan organik akan terhambat, sehingga mengurangi kualitas efluen air limbah.

Oleh karena itu, upaya pencegahan yang dapat dilakukan penghuni rusunawa adalah memastikan bahwa sisa minyak penggorengan dan sisa makanan tidak ikut terbuang pada saluran bak cuci piring. Pihak pengelola rusunawa juga dapat mengupayakan hal serupa dengan membangun unit penangkap minyak dan lemak (*grease trap*) untuk air limbah *greywater* pada masing-masing blok rusunawa. Dengan demikian, air limbah *greywater* rusunawa dapat diolah terlebih dahulu di dalam unit *grease trap* sebelum dialirkan menuju unit ABR dan selanjutnya biofilter anaerobik. Gambar 5.11 menunjukkan unit *grease trap* beserta keterangan bagian-bagian unitnya.



Gambar 5. 11 Grease Trap

Keterangan Gambar 5.11:

- A. Aliran *greywater* dari dapur dan kamar mandi memasuki unit *grease trap*.
- B. Alat pengaturan aliran air limbah dipasang untuk membatasi aliran disesuaikan dengan kapasitas unit *grease trap*.
- C. Vent memungkinkan udara masuk ke dalam ruang kosong unit *grease trap* untuk mencegah tekanan balik.
- D. *Baffle* dapat menahan minyak dan lemak yang mengapung di permukaan.
- E. Padatan pada air limbah yang tidak mengapung akan mengendap ke dasar unit *grease trap*. Selanjutnya endapan akan dikuras secara rutin.
- F. Minyak dan lemak yang mengapung akan terakumulasi di sisi belakang *baffle*.
- G. Kontak udara melalui pipa berfungsi untuk menjaga sirkulasi udara di dalam reaktor.
- H. Beberapa unit *grease trap* dilengkapi titik pengambilan sampel pada outlet untuk menguji kualitas efluen.
- I. Saluran *cleanout* pada outlet memberikan akses ke dalam pipa untuk menghilangkan *blockages*.
- J. Air limbah mengalir keluar melalui pipa outlet.

5.5 Biofilter Anaerobik

Unit biofilter anaerobik merupakan unit pengolahan terakhir di Rusunawa Tanah Merah 2 yang dimiliki oleh setiap blok. Adapun kedua unit biofilter anaerobik tidak dilengkapi dengan manhole. Titik inlet unit ini terletak pada kompartemen terakhir unit ABR, sedangkan titik outletnya terletak pada pipa outlet. Evaluasi kinerja unit biofilter anaerobik dilakukan terhadap efisiensi removal pencemar organik pada IPAL tiap blok. Selanjutnya evaluasi dilakukan terhadap unit proses pada kondisi eksisting yang disesuaikan dengan kriteria desain unit biofilter anaerobik.

5.5.1 Efisiensi Removal Unit Biofilter Anaerobik

Data analisis laboratorium terhadap parameter uji digunakan untuk menghitung besar efisiensi penyisihan BOD, COD, TSS, serta Minyak dan Lemak di dalam unit biofilter anaerobik. Persentase efisiensi penyisihan menunjukkan kinerja unit biofilter anaerobik dalam mengolah air limbah rusunawa. Perhitungan efisiensi removal organik pada unit biofilter anaerobik menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\%$$

dengan keterangan:

a = konsentrasi parameter pencemar awal/ influen (mg/L),

b = konsentrasi parameter pencemar akhir/ efluen (mg/L).

Sebagai contoh perhitungan, besar efisiensi removal parameter BOD pada unit biofilter anaerobik blok 1 diketahui:

Konsentrasi influen = 160 mg/L

Konsentrasi efluen = 142 mg/L

$$\text{Efisiensi} = \frac{(160-142)\text{mg/L}}{160\text{ mg/L}} \times 100\% = 11\%$$

Selanjutnya hasil perhitungan efisiensi removal parameter BOD ditunjukkan pada Tabel 5.18.

Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal BOD

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 1	I	160	142	11%
	II	314	135	57%
	III	150	180	0%
	IV	136	120	12%
Blok 2	I	126	132	0%
	II	134	142	0%
	III	152	134	12%
	IV	112	98	13%

Berdasarkan Tabel 5.18 didapatkan kisaran nilai persentase removal BOD pada IPAL blok 1 adalah 11-57%. Sedangkan pada IPAL blok 2, kisaran nilai persentase removal BOD mencapai 12-13%. Selanjutnya hasil perhitungan efisiensi removal parameter COD ditunjukkan pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal COD

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 1	I	221	199	10%
	II	442	188	57%
	III	210	254	0%
	IV	188	166	12%
Blok 2	I	177	188	0%
	II	188	198	0%
	III	210	188	10%
	IV	155	138	11%

Berdasarkan Tabel 5.19 didapatkan kisaran nilai persentase removal COD pada IPAL blok 1 adalah 10-57%. Sedangkan pada IPAL blok 2, kisaran nilai persentase removal COD mencapai 10-11%. Selanjutnya hasil perhitungan efisiensi removal parameter TSS ditunjukkan pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 20 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal TSS

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 1	I	124	174	0%
	II	308	84	73%
	III	110	160	0%
	IV	132	60	55%
Blok 2	I	120	178	0%
	II	90	60	33%
	III	124	58	53%
	IV	58	46	21%

Berdasarkan Tabel 5.20 didapatkan kisaran nilai persentase removal TSS pada IPAL blok 1 adalah 55-73%. Sedangkan pada IPAL blok 2, kisaran nilai persentase removal TSS mencapai 21-53%. Selanjutnya hasil perhitungan efisiensi removal parameter minyak dan lemak (OG) ditunjukkan pada Tabel 5.21.

Tabel 5. 21 Hasil Perhitungan Efisiensi Removal OG

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 1	I	17636	10732	39%
	II	304	300	1%
	III	252	8448	0%
	IV	14388	232	98%

IPAL	Pengukuran ke-	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal
Blok 2	I	17340	3116	82%
	II	14816	392	97%
	III	16652	60	100%
	IV	4352	56	99%

Berdasarkan Tabel 5.21 didapatkan nilai persentase removal minyak dan lemak (OG) pada IPAL blok 1 mencapai 98%. Sedangkan pada IPAL blok 2, nilai persentase removal minyak dan lemak (OG) mencapai 100%. Morel dan Diener (2006) menyatakan bahwa unit biofilter anaerobik memiliki fungsi lebih dominan dalam menghilangkan padatan yang terlarut dan susah mengendap. Hal ini dibuktikan dengan tingginya nilai persentase removal TSS serta minyak dan lemak (OG) pada unit biofilter anaerobik di kedua blok.

5.5.2 Analisis Parameter Kinerja Unit Biofilter Anaerobik

Efluen dari ABR selanjutnya dialirkan menuju unit biofilter anaerobik secara gravitasi. Adapun parameter kinerja tiap unit biofilter anaerobik pada kedua blok disesuaikan dengan kriteria desain. Beberapa kriteria desain pada unit biofilter anaerobik meliputi:

1. Removal BOD : 50-90%
2. Removal TSS : 50-80%
3. Beban organik : 4-5 kg COD/m³.hari
(Sasse, 1998)
4. *Hydraulic retention time* : 0,7-1,5 hari
(Morel dan Diener, 2006)

Pembahasan mengenai parameter kinerja unit biofilter anaerobik pada kedua blok meliputi beban organik, dan lama *hydraulic retention time*. Hasil perhitungan kedua parameter disajikan dalam tabel. Adapun data influen dan rumus

perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai kedua parameter tersebut dijelaskan sebagai berikut:

Data unit biofilter anaerobik:

Panjang = 1,3 m

Lebar = 1,0 m

Kedalaman = 2,0 m

Volume = $(1,3 \times 1,0 \times 2,0) \text{ m}^3$
 $= 2,6 \text{ m}^3$

Hasil perhitungan beban organik pada unit biofilter anaerobik ditunjukkan dalam Tabel 5.22 dengan rumus perhitungan berikut:

$$\text{Beban organik (OLR)} = \frac{Q_{ave} \cdot S_o}{\text{Volume biofilter anaerobik}}$$

Nilai S_o merupakan besar konsentrasi parameter COD pada influen air limbah rusunawa.

Tabel 5. 22 Hasil Perhitungan Beban Organik Unit Biofilter Anaerobik

Blok	Pengukuran ke-	So	Qave	Vol. unit	OLR
		mg COD/L	m ³ /hari	m ³	kg COD/m ³ .hari
1	I	221	36,5	2,60	3,10
	II	442	37,0	2,60	6,29
	III	210	36,5	2,60	2,95
	IV	188	36,2	2,60	2,62
2	I	177	35,9	2,60	2,44
	II	188	35,1	2,60	2,54
	III	210	35,1	2,60	2,84
	IV	155	35,7	2,60	2,13

Berdasarkan Tabel 5.22 dapat dilihat bahwa beban organik pada unit biofilter anaerobik di kedua blok belum memenuhi kriteria desain antara 4-5 kg COD/m³.hari. Hanya pada

pengukuran kedua di blok 1 yang menunjukkan *over design*, sedangkan lainnya cenderung *under design*. Sasse (1998) menjelaskan bahwa nilai beban organik yang terlalu rendah hanya menghasilkan sedikit lumpur bakteri (biomassa). Hal ini dikarenakan bakteri akan memakan sesamanya untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya (*autolysis*). Akibatnya, pencemar organik pada influen selanjutnya tidak akan terdegradasi dengan baik, sehingga mengurangi efektifitas proses pengolahan secara keseluruhan. Selanjutnya analisis parameter kinerja dilakukan terhadap nilai HRT unit biofilter anaerobik di kedua blok. Adapun hasil perhitungan beban organik pada unit biofilter anaerobik ditunjukkan dalam Tabel 5.23 dengan rumus perhitungan berikut:

$$\text{HRT (jam)} = \frac{\text{volume reaktor}}{Q_{ave}}$$

Tabel 5. 23 Hasil Perhitungan HRT Unit Biofilter Anaerobik

Blok	Pengukuran ke-	Volume BA	Qave	HRT
		m ³	m ³ /hari	hari
1	I	2,60	36,5	0,82
	II	2,60	37,0	0,81
	III	2,60	36,5	0,82
	IV	2,60	36,2	0,83
2	I	2,60	35,9	0,84
	II	2,60	35,1	0,86
	III	2,60	35,1	0,86
	IV	2,60	35,7	0,84

Morel dan Diener (2006) memberikan pernyataan kisaran nilai HRT adalah 0,7-1,5 hari. Hasil perhitungan nilai HRT pada Tabel 5.23 telah memenuhi kriteria desain sesuai pernyataan Morel dan Diener.

5.5.3 Hasil Analisis Kinerja Unit Biofilter Anaerobik

Dari hasil perhitungan analisis parameter kinerja unit biofilter anaerobik, maka dapat disajikan hasil analisis tersebut dalam Tabel 5.24. Tujuan daripada pembuatan tabel untuk meringkas dan mempermudah dalam menganalisis pemberian solusi selanjutnya.

Tabel 5. 24 Hasil Analisis Kinerja Unit Biofilter Anaerobik

No.	Parameter	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain	Keterangan
1	Removal BOD	Biofilter anaerobik blok 1 11-57%	50-90%	Sesuai
		Biofilter anaerobik blok 2 12-13%		Belum sesuai
2	Removal TSS	Biofilter anaerobik blok 1 55-73%.	50-80%	Sesuai
		Biofilter anaerobik blok 2 21-53%		Sesuai
3	Beban organik	ABR blok 1 2,62-6,29 kg COD/m ³ .hari	4-5 kg COD/m ³ . hari	Belum sesuai
		Biofilter anaerobik blok 2 2,13-2,84 kg COD/m ³ .hari		Belum sesuai
4	HRT	Biofilter anaerobik blok 1 0,81-0,83 hari	0,7-1,5 hari	Sesuai
		Biofilter anaerobik blok 2 0,84-0,86 hari		Sesuai

Hasil analisis parameter kinerja pada kondisi eksisting unit biofilter anaerobik secara umum telah memenuhi kriteria desain. Hanya saja ketidaksesuaian terhadap kriteria desain terjadi pada removal BOD di blok 2 dan beban organik di kedua blok. Nilai efisiensi removal yang tidak sesuai dengan kriteria desain diduga karena menurunnya kemampuan biofilm dalam mendegradasi pencemar organik. Sedangkan beban organik pada kedua blok cenderung *under design*. Pembangunan unit biofilter anaerobik dapat dipastikan telah memenuhi kriteria desain. Adapun ketidaksesuaian beban organik diduga karena pencemar organik sebagian besar telah terurai sebelumnya di unit ABR. Sebanyak 25-40% dari total COD pada air limbah terukur sebagai senyawa minyak dan lemak (Quemeneur & Marty, 1994). Dengan demikian, keberadaan konsentrasi minyak dan lemak sebagaimana mestinya ikut berkontribusi terhadap jumlah konsentrasi COD total. Namun perhitungan beban organik pada biofilter anaerobik hanya dilakukan murni terhadap konsentrasi COD saja.

Unit biofilter anaerobik menggunakan sistem pengolahan terlekat dengan media batu koral. Menurut Leslie *et al.* (1999) mekanisme kerja biofilter anaerobik dijelaskan sebagai berikut:

1. Transportasi dan adsorpsi zat organik dan nutrien dari fase cair ke fase biofilm.
2. Transportasi mikroorganisme dari fase cair ke fase biofilm.
3. Adsorpsi mikroorganisme terjadi ke dalam lapisan biofilm.
4. Reaksi metabolisme mikroorganisme di dalam lapisan biofilm memungkinkan terjadinya mekanisme pertumbuhan, pemeliharaan, kematian, dan *lysis* sel.
5. Pelekatan mikroorganisme pada permukaan media pada saat lapisan biofilm mulai terbentuk dan selanjutnya terakumulasi pada lapisan biofilm.
6. Mekanisme pelepasan biofilm dari medianya (*detachment biofilm*).
7. Mekanisme terbentuknya hasil samping pengolahan biologis (*by product*).

Efisiensi removal pencemar organik dapat ditingkatkan dengan memperbesar volume media biofilter, sehingga beban organik mengalami penurunan. Peningkatan volume media biofilter dapat dilakukan dengan menambah area pelekatan mikroorganisme. Dengan demikian, mikroorganisme yang melekat pada media filter akan bertambah dan meningkatkan efektifitas proses degradasi. Kondisi anaerobik di dalam reaktor akan menghasilkan gas CH_4 dan H_2S sebagai hasil samping proses pengolahan. Oleh karena itu, pemasangan pipa vent pada reaktor perlu dilakukan untuk menyalurkan gas yang terbentuk keluar dari reaktor.

Chaudhary *et al.* (2003) menyatakan bahwa kinerja biofilter anaerobik tergantung pada biomassa yang melekat di permukaan media filter. Perbedaan jenis media filter akan menghasilkan perbedaan laju pertumbuhan biomassa dan kapasitas biomassa yang tertinggal pula. Dalam proses filtrasi, efek penyumbatan yang disebabkan oleh penumpukan lumpur organik lambat laun pasti terjadi. Sebagai akibatnya, aliran singkat (*short pass*) di dalam reaktor akan menurunkan efektifitas kinerja mikroorganisme. Selanjutnya jumlah aliran akan menurun, sehingga kapasitas pengolahan pun menjadi berkurang secara drastis. Oleh karena itu, proses pencucian media filter perlu dilakukan secara rutin sekalipun secara manual.

Pemilihan media filter sebaiknya disesuaikan dengan kondisi proses serta jenis air limbah yang akan diolah. Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam memilih media filter yaitu:

1. Luas permukaan spesifik

Sebagian besar media filter memiliki luas permukaan spesifik antara $100\text{--}820 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Luas permukaan spesifik merupakan ukuran luas area yang aktif secara biologis tiap satuan volume media. Luas permukaan total yang tersedia bagi pertumbuhan mikroorganisme merupakan indikator kapasitas biofilter untuk menghilangkan polutan. Dengan demikian, media filter yang baik pasti memiliki luas permukaan spesifik lebih besar. Adapun media filter yang

digunakan pada unit biofilter anaerobik rusunawa yaitu batu koral. Luas permukaan media batu koral diketahui sebesar $100\text{-}200\text{ m}^2/\text{m}^3$. Jenis media yang memiliki luas permukaan terbesar dimiliki oleh media sarang tawon dengan luas $150\text{-}240\text{ m}^2/\text{m}^3$ dan *bioball* dengan luas $200\text{-}240\text{ m}^2/\text{m}^3$.

2. Fraksi volume rongga

Maksud daripada fraksi volume rongga adalah persentase ruang atau ruang terbuka yang tidak tertutup oleh media itu sendiri. Nilai fraksi volume rongga berkisar antara 15-98%. Semakin tinggi nilai fraksi dapat menciptakan aliran air limbah semakin lancar dan udara bebas pun tidak terhalang.

3. Diameter celah bebas

Diameter celah bebas akan menentukan ukuran terbesar partikel polutan yang mampu melewati celah media filter. Dengan demikian, kemungkinan terjadinya penyumbatan media filter dapat diantisipasi.

4. Ketahanan terhadap penyumbatan

Penyumbatan dapat disebabkan oleh pertumbuhan biomassa yang berlebihan, sehingga menghalangi celah di antara media. Media filter yang terpilih sebaiknya memiliki luas permukaan spesifik yang besar dengan fraksi volume rongga yang besar pula. Dengan demikian, sejumlah besar mikroorganisme yang tumbuh melekat pada permukaan media akan meningkatkan efisiensi biofilter pula.

5. Terbuat dari bahan inert.

Bahan media filter seperti kayu, kertas, maupun bahan lainnya yang dapat terurai secara biologis sebaiknya tidak dipilih. Demikian pula bahan logam seperti besi, aluminium maupun tembaga tidak sesuai karena bersifat korosif. Media filter yang baik merupakan media yang anti korosif, tahan terhadap pembusukan dan perusakan secara kimia, serta terlindung dari paparan sinar ultraviolet.

6. Kekuatan mekanik media filter

Salah satu syarat media filter yang baik ialah memiliki kekuatan mekanik yang besar. Biofilter berukuran besar

sebaiknya mampu menyangga satu atau dua orang pekerja. Semakin besar kekuatan mekanik unit biofilter, maka semakin stabil bentuknya, dan keperluan penyangga bejana pun berkurang.

7. Berat dan fleksibilitas media filter

Semakin ringan media biofilter, maka pemindahan media akan semakin mudah untuk dilakukan dan mampu mengurangi biaya konstruksi. Oleh karena ukuran dan bentuk reaktor bervariasi, maka media filter sebaiknya bersifat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan bentuk reaktor. Tingkat fleksibilitas media filter akan menentukan kemudahan pemasangan media filter ke dalam reaktor.

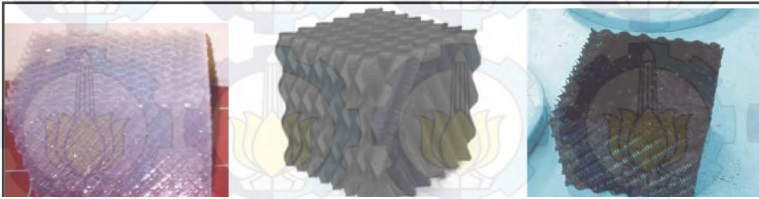
8. Tingkat pemeliharaan media filter

Media biofilter yang baik seharusnya memiliki kemudahan dalam hal pemeliharaannya, bahkan tidak memerlukan pemeliharaan sama sekali. Sekalipun terjadi penyumbatan, media filter seharusnya mudah dipindahkan dengan kebutuhan tenaga yang sedikit.

9. Sifat kebasahan media filter

Permukaan media filter sebaiknya bersifat *hidrophilic* (suka air), sehingga mikroorganisme dapat menempel dengan baik. Bahan media filter dengan permukaan licin menyerupai lilin atau *hidrophobic* (tidak suka air) dapat menghambat proses pelekatan mikroorganisme dan menyebabkan biofilm mudah terlepas dan ikut terhanyut.

Penggunaan batu koral sebagai media filter pada unit biofilter anaerobik rusunawa memiliki beberapa kelemahan. Konstruksi reaktor dapat dipastikan dilengkapi dengan penyangga media. Kondisi ini mengindikasikan bahwa media batu koral cenderung bersifat permanen berada di dalam reaktor dan sulit untuk dipindahkan. Oleh karena itu, penggantian media filter menggunakan media terstruktur dapat dipertimbangkan. Salah satu jenis media terstruktur dari bahan plastik adalah media sarang tawon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Media Sarang Tawon

Sebagian besar media terstruktur termasuk media sarang tawon diketahui memiliki jenis aliran silang (*cross flow*). Adapun spesifikasi media filter sarang tawon dijelaskan sebagai berikut:

- Tipe : Sarang tawon
- Material : PVC
- Ukuran modul : $30 \times 25 \times 30 \text{ cm}^3$
- Ukuran lubang : $2 \times 2 \text{ cm}^2$
- Ketebalan : 0,5 mm
- Luas permukaan spesifik : $150\text{-}240 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- Berat media : $30\text{-}35 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Porositas rongga : 98%
- Warna : Hitam atau bening transparan

Bahan PVC pada awalnya bersifat *hidrophobic*, namun selanjutnya menjadi basah sebab tingkat kemampuan kebasahan (*wetability*) pada PVC tergolong baik. Tingkat kebasahan PVC dapat tercapai dalam waktu 1-2 minggu. Apabila penggantian media filter tidak dapat dilaksanakan, maka langkah pemeliharaan secara rutin dapat dipilih oleh pihak pengelola IPAL rusunawa. Peningkatan efisiensi removal dapat dilakukan dengan menambah tinggi tumpukan media filter, sehingga aliran air limbah menjadi lebih lambat dan memperpanjang proses degradasi pencemar organik. Said (2002) menjelaskan tinggi *bed* media filter dapat dicapai pada kisaran 0,9-1,5 m. Sperling dan Chernicharo (2005) pun menambahkan bahwa penggunaan media filter berlapis dapat meningkatkan efisiensi removal dengan kedalaman susunan minimum 0,8-1,2 m.

5.6 Analisis Keseimbangan Massa

Fungsi perhitungan keseimbangan massa untuk mengetahui aliran konversi pencemar organik di dalam reaktor.

5.6.1 Keseimbangan Massa pada Sampel Uji Pertama

Anaerobic Baffled Reactor Blok 1

I Influen

1	Qave	=	0,00043 m ³ /det
		=	37,2 m ³ /hari
2	BOD	=	266 mg/L
		=	0,3 kg/m ³
3	COD	=	375 mg/L
		=	0,4 kg/m ³
4	TSS	=	352 mg/L
		=	0,4 kg/m ³
5	OG	=	7060 mg/L
		=	7,1 kg/m ³
6	M BOD	= Qave x BOD	
		=	9,9 kg/hari
7	M COD	= Qave x COD	
		=	13,9 kg/hari
8	M TSS	= Qave x TSS	
		=	13,1 kg/hari
9	M OG	= Qave x OG	
		=	262,3 kg/hari

II Efluen

1	BOD	=	160 mg/L
		=	0,2 kg/m ³

$$2 \quad \text{COD} = 221 \text{ mg/L} = 0,2 \text{ kg/m}^3$$

$$3 \quad \text{TSS} = 124 \text{ mg/L} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$4 \quad \text{OG} = 17636 \text{ mg/L} = 17,6 \text{ kg/m}^3$$

$$5 \quad \text{M BOD} = \text{Qave} \times \text{BOD} = 5,9 \text{ kg/hari}$$

$$6 \quad \text{M COD} = \text{Qave} \times \text{COD} = 8,2 \text{ kg/hari}$$

$$7 \quad \text{M TSS} = \text{Qave} \times \text{TSS} = 4,6 \text{ kg/hari}$$

$$8 \quad \text{M OG} = \text{Qave} \times \text{OG} = 655,2 \text{ kg/hari}$$

III Removal

$$1 \quad \text{M BOD} = \text{M BOD influen} - \text{M BOD effluen} = 3,9 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad \text{M COD} = \text{M COD influen} - \text{M COD effluen} = 5,7 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad \text{M TSS} = \text{M TSS influen} - \text{M TSS effluen} = 8,5 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad \text{M OG} = \text{M OG influen} - \text{M OG effluen} = 0,0 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

$$1 \quad \% \text{ BOD} = \text{M BOD (removal / influen)} \times 100\% = 40\%$$

$$2 \quad \% \text{ COD} = \text{M COD (removal / influen)} \times 100\% = 41\%$$

$$3 \quad \% \text{ TSS} = \text{M TSS (removal / influen)} \times 100\%$$

74

$$4 \quad \% \text{ OG} = \frac{\text{M OG (removal / influen)}}{\text{M OG}} \times 100\%$$

V Pembentukan Gas Metana

$$1 \quad \text{Konsentrasi COD} = 25\text{-}40\% \text{ konsentrasi OG}$$

$$= 40\% \times \text{massa OG teremoval}$$

$$= 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad \text{Total massa COD teremoval} = 5,7 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad 1 \text{ kg COD teremoval} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$4 \quad \text{Volume gas metana} = (\text{M COD}_{\text{removal}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 \text{ m}^3$$

$$= 2,0 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$5 \quad \text{Massa jenis metana } (\rho) = 0,668 \text{ kg/m}^3$$

$$6 \quad \text{Massa gas metana} = \rho \text{ gas metana} \times \text{volume gas metana}$$

$$= 1,3 \text{ kg/hari}$$

VI Debit Efluen

$$1 \quad \text{Konsentrasi SS dalam lumpur} = 1,3\%$$

$$2 \quad \text{Specific gravity (Sg)} = 1,03 \text{ kg/L}$$

$$3 \quad \text{Massa lumpur} = \text{M TSS}_{\text{removal}} / 1,3\%$$

$$= 651,6 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad \text{Volume lumpur} = \text{Massa lumpur} / 1,03 \text{ kg/L}$$

$$= 632,6 \text{ L/hari}$$

$$= 0,6 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$5 \quad \text{Q efluen} = \text{Q influen} - \text{Volume lumpur}$$

$$= 36,5 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Biofilter Anaerobik Blok 1

I Influen

$$1 \quad \text{Qave} = \text{Q efluen ABR}$$

2 BOD

36,5 m³/hari

160 mg/L

3 COD

0,2 kg/m³

221 mg/L

4 TSS

0,2 kg/m³

124 mg/L

5 OG

0,1 kg/m³

17636 mg/L

6 M BOD

= Qave x BOD

17,6 kg/m³

7 M COD

= Qave x COD

5,9 kg/hari

8 M TSS

= Qave x TSS

8,2 kg/hari

9 M OG

= Qave x OG

4,6 kg/hari

II Effluen

655,2 kg/hari

1 BOD

142 mg/L

2 COD

0,1 kg/m³

199 mg/L

3 TSS

0,2 kg/m³

174 mg/L

4 OG

0,2 kg/m³

10732 mg/L

5 M BOD

= Qave x BOD

10,7 kg/m³

5,3 kg/hari

76

$$6 \quad M \text{ COD} = Q_{ave} \times \text{COD} = 7,4 \text{ kg/hari}$$

$$7 \quad M \text{ TSS} = Q_{ave} \times \text{TSS} = 6,5 \text{ kg/hari}$$

$$8 \quad M \text{ OG} = Q_{ave} \times \text{OG} = 398,7 \text{ kg/hari}$$

III Removal

$$1 \quad M \text{ BOD} = M \text{ BOD influen} - M \text{ BOD efluen} = 0,7 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad M \text{ COD} = M \text{ COD influen} - M \text{ COD efluen} = 0,8 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad M \text{ TSS} = M \text{ TSS influen} - M \text{ TSS efluen} = 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad M \text{ OG} = M \text{ OG influen} - M \text{ OG efluen} = 256,5 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

$$1 \quad \% \text{ BOD} = \frac{M \text{ BOD (removal / influen)}}{M \text{ BOD (removal / influen)}} \times 100\% = 11\%$$

$$2 \quad \% \text{ COD} = \frac{M \text{ COD (removal / influen)}}{M \text{ COD (removal / influen)}} \times 100\% = 10\%$$

$$3 \quad \% \text{ TSS} = \frac{M \text{ TSS (removal / influen)}}{M \text{ TSS (removal / influen)}} \times 100\% = 0\%$$

$$4 \quad \% \text{ OG} = \frac{M \text{ OG (removal / influen)}}{M \text{ OG (removal / influen)}} \times 100\% = 39\%$$

V Pembentukan Gas Metana

$$1 \quad \text{Konsentrasi COD} = 25\text{-}40\% \text{ konsentrasi OG} = 40\% \times \text{massa OG terremoval} = 102,6 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad \text{Total massa COD terremoval} = 103,4 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}
 3 \quad 1 \text{ kg COD teremoval} &= 0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas} \\
 4 \quad \text{Volume gas metana} &= (M \text{ COD}_{\text{removal}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 \text{ m}^3 \\
 &= 36,2 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 5 \quad \text{Massa jenis metana } (\rho) &= 0,668 \text{ kg/m}^3 \\
 6 \quad \text{Massa gas metana} &= \rho \text{ gas metana} \times \text{volume gas metana} \\
 &= 24,2 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

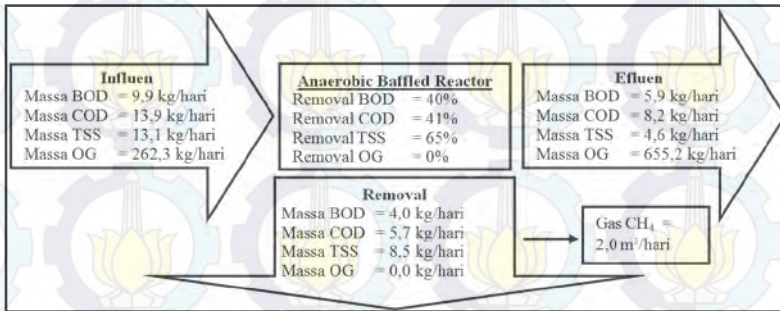
VI Debit Efluen

$$\begin{aligned}
 1 \quad \text{Konsentrasi SS dalam lumpur} &= 1,3\% \\
 2 \quad \text{Specific gravity (Sg)} &= 1,03 \text{ kg/L} \\
 3 \quad \text{Massa lumpur} &= M \text{ TSS}_{\text{removal}} / 1,3\% \\
 &= 0,0 \text{ kg/hari} \\
 4 \quad \text{Volume lumpur} &= \text{Massa lumpur} / 1,03 \text{ kg/L} \\
 &= 0,0 \text{ L/hari} \\
 &= 0,0 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 5 \quad Q \text{ efluen} &= Q \text{ influen} - \text{Volume lumpur} \\
 &= 36,5 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Cek Kesetimbangan Massa

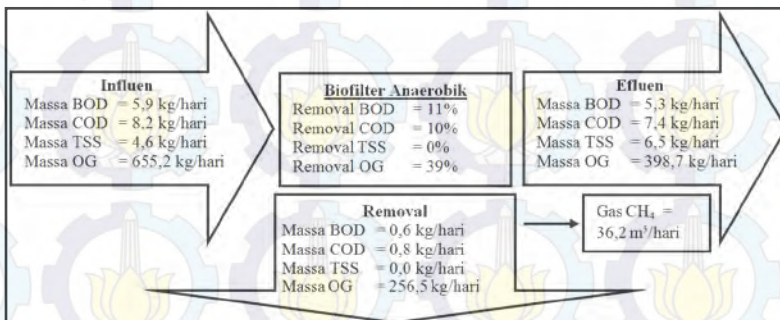
$$\begin{aligned}
 1 \quad Q \text{ masuk} &= \text{Vol. lumpur ABR} + \text{Vol. lumpur biofilter anaerobik} + Q \text{ efluen} \\
 37,2 \text{ m}^3/\text{hari} &= (0,6 + 0,0 + 36,5) \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 37,2 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Diagram alir kesetimbangan massa unit ABR blok 1 dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5. 13 Diagram Alir Mass Balance ABR

Sedangkan diagram alir kesetimbangan massa unit biofilter anaerobik blok 1 ditunjukkan pada Gambar 5.14



Gambar 5. 14 Diagram Alir Mass Balance Biofilter Anaerobik

Perhitungan kesetimbangan massa pada kedua unit IPAL di blok 2 selanjutnya dijelaskan sebagai berikut:

Anaerobic Baffled Reactor Blok 2

I Influen

1	Qave	=	0,00043 m ³ /det
		=	37,2 m ³ /hari
2	BOD	=	342 mg/L
		=	0,3 kg/m ³
3	COD	=	475 mg/L
		=	0,5 kg/m ³
4	TSS	=	588 mg/L
		=	0,6 kg/m ³
5	OG	=	15620 mg/L
		=	15,6 kg/m ³
6	M BOD	= Qave x BOD	
		=	12,7 kg/hari
7	M COD	= Qave x COD	
		=	17,6 kg/hari
8	M TSS	= Qave x TSS	
		=	21,8 kg/hari
9	M OG	= Qave x OG	
		=	580,3 kg/hari

II Efluen

1	BOD	=	126 mg/L
		=	0,1 kg/m ³
2	COD	=	177 mg/L
		=	0,2 kg/m ³
3	TSS	=	120 mg/L

80

4

OG

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

0,1 kg/m³

17340 mg/L

17,3 kg/m³

Qave x BOD

4,7 kg/hari

Qave x COD

6,6 kg/hari

Qave x TSS

4,5 kg/hari

Qave x OG

644,2 kg/hari

III Removal

1

M BOD

=

M BOD influen - M BOD efluen

=

8,0 kg/hari

2

M COD

=

M COD influen - M COD efluen

=

11,1 kg/hari

3

M TSS

=

M TSS influen - M TSS efluen

=

17,4 kg/hari

4

M OG

=

M OG influen - M OG efluen

=

0,0 kg/hari

IV Efisiensi Removal

1

% BOD

=

M BOD (removal / influen) x 100%

=

63%

2

% COD

=

M COD (removal / influen) x 100%

=

63%

3

% TSS

=

M TSS (removal / influen) x 100%

=

80%

4

% OG

=

M OG (removal / influen) x 100%

=

0%

V Pembentukan Gas Metana

1	Konsentrasi COD	=	25-40% konsentrasi OG	
		=	40% x massa OG teremoval	
		=		0,0 kg/hari
2	Total massa COD teremoval	=		11,1 kg/hari
3	1 kg COD teremoval	=		0,35 m ³ biogas
4	Volume gas metana	=	(M COD _{removal} / 1 kg COD) x 0,35 m ³	
		=		3,9 m ³ /hari
5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=		2,6 kg/hari

VI Debit Efluen

1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=		1,3%
2	Specific gravity (Sg)	=		1,03 kg/L
3	Massa lumpur	=	M TSS _{removal} / 1,3%	
		=		1337,5 kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=		1298,5 L/hari
		=		1,3 m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=		35,9 m ³ /hari

Biofilter Anaerobik Blok 2**I Influen**

1	Qave	=	Q efluen ABR	
		=		35,9 m ³ /hari
2	BOD	=		126 mg/L
		=		0,1 kg/m ³

82

3

COD

=

177 mg/L

=

0,2 kg/m³

4

TSS

=

120 mg/L

=

0,1 kg/m³

5

OG

=

17340 mg/L

=

17,3 kg/m³

6

M BOD

=

Qave x BOD

=

4,7 kg/hari

7

M COD

=

Qave x COD

=

6,6 kg/hari

8

M TSS

=

Qave x TSS

=

4,5 kg/hari

9

M OG

=

Qave x OG

=

644,2 kg/hari

II Efluen

1

BOD

=

132 mg/L

=

0,1 kg/m³

2

COD

=

188 mg/L

=

0,2 kg/m³

3

TSS

=

178 mg/L

=

0,2 kg/m³

4

OG

=

3116 mg/L

=

3,1 kg/m³

5

M BOD

=

Qave x BOD

=

4,9 kg/hari

6

M COD

=

Qave x COD

=

7,0 kg/hari

7

M TSS

=

Qave x TSS

$$8 \quad M_{OG} = Q_{ave} \times OG = 6,6 \text{ kg/hari}$$

III Removal

$$1 \quad M_{BOD} = M_{BOD \text{ influen}} - M_{BOD \text{ efluen}} = 115,8 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad M_{COD} = M_{COD \text{ influen}} - M_{COD \text{ efluen}} = 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad M_{TSS} = M_{TSS \text{ influen}} - M_{TSS \text{ efluen}} = 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad M_{OG} = M_{OG \text{ influen}} - M_{OG \text{ efluen}} = 528,5 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

$$1 \quad \% BOD = \frac{M_{BOD \text{ (removal)}}}{M_{BOD \text{ (influen)}}} \times 100\% = 0\%$$

$$2 \quad \% COD = \frac{M_{COD \text{ (removal)}}}{M_{COD \text{ (influen)}}} \times 100\% = 0\%$$

$$3 \quad \% TSS = \frac{M_{TSS \text{ (removal)}}}{M_{TSS \text{ (influen)}}} \times 100\% = 0\%$$

$$4 \quad \% OG = \frac{M_{OG \text{ (removal)}}}{M_{OG \text{ (influen)}}} \times 100\% = 82\%$$

V Pembentukan Gas Metana

$$1 \quad \text{Konsentrasi COD} = 25\text{-}40\% \text{ konsentrasi OG} = 40\% \times \text{massa OG terremoval}$$

$$= 211,4 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad \text{Total massa COD terremoval} = 211,4 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad 1 \text{ kg COD terremoval} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$4 \quad \text{Volume gas metana} = (M_{COD_{\text{removal}}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 \text{ m}^3 = 74,0 \text{ m}^3/\text{hari}$$

84

$$5 \quad \text{Massa jenis metana } (\rho) = 0,668 \quad \text{kg/m}^3$$

$$6 \quad \text{Massa gas metana} = \rho \text{ gas metana} \times \text{volume gas metana} = 49,4 \quad \text{kg/hari}$$

VI Debit Efluen

$$1 \quad \text{Konsentrasi SS dalam lumpur} = 1,3\%$$

$$2 \quad \text{Specific gravity (Sg)} = 1,03 \quad \text{kg/L}$$

$$3 \quad \text{Massa lumpur} = M \text{ TSS}_{\text{removal}} / 1,3\% = 0,0 \quad \text{kg/hari}$$

$$4 \quad \text{Volume lumpur} = \text{Massa lumpur} / 1,03 \text{ kg/L} = 0,0 \quad \text{L/hari}$$

$$= 0,0 \quad \text{m}^3/\text{hari}$$

$$5 \quad Q \text{ efluen} = Q \text{ influen} - \text{Volume lumpur} = 35,9 \quad \text{m}^3/\text{hari}$$

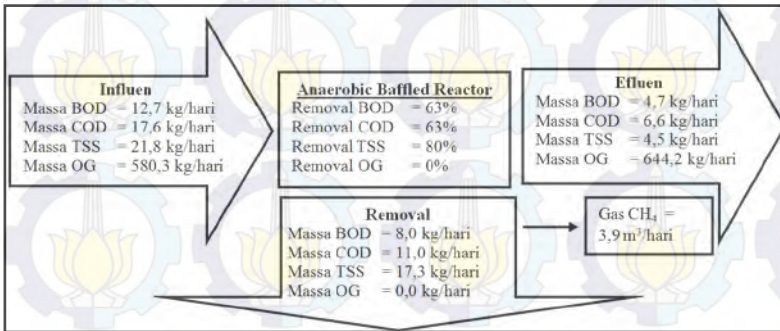
Cek Keseimbangan Massa

$$1 \quad Q \text{ masuk} = \text{Vol. lumpur ABR} + \text{Vol. lumpur biofilter anaerobik} + Q \text{ efluen}$$

$$37,2 \text{ m}^3/\text{hari} = (1,3 + 0,0 + 35,9) \text{ m}^3/\text{hari}$$

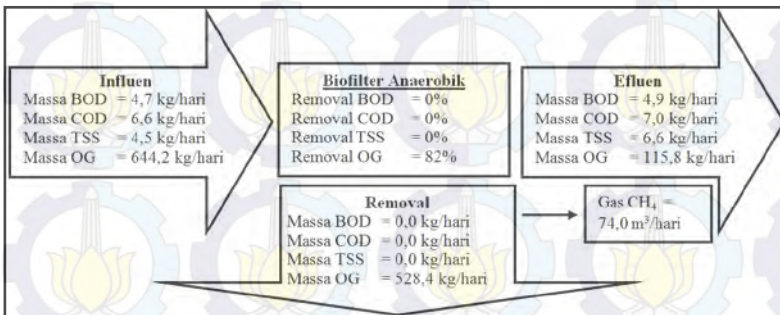
$$= 37,2 \quad \text{m}^3/\text{hari}$$

Diagram alir kesetimbangan massa unit ABR blok 2 dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5. 15 Diagram Alir Mass Balance ABR

Sedangkan diagram alir kesetimbangan massa unit biofilter anaerobik blok 2 ditunjukkan pada Gambar 5.16.



Gambar 5. 16 Diagram Alir Mass Balance Biofilter Anaerobik

5.6.2 Kestimbangan Massa pada Sampel Uji Kedua

Anaerobic Baffled Reactor Blok 1

I Influen			
1	Qave	=	0,00043 m ³ /det
		=	37,2 m ³ /hari
2	BOD	=	274 mg/L
		=	0,3 kg/m ³
3	COD	=	386 mg/L
		=	0,4 kg/m ³
4	TSS	=	346 mg/L
		=	0,3 kg/m ³
5	OG	=	10000 mg/L
		=	10,0 kg/m ³
6	M BOD	= Qave x BOD	
		=	10,2 kg/hari
7	M COD	= Qave x COD	
		=	14,3 kg/hari
8	M TSS	= Qave x TSS	
		=	12,9 kg/hari
9	M OG	= Qave x OG	
		=	371,5 kg/hari
II Efluen			
1	BOD	=	314 mg/L
		=	0,3 kg/m ³
2	COD	=	442 mg/L
		=	0,4 kg/m ³
3	TSS	=	308 mg/L

					0,3 kg/m ³
4	OG	=			304 mg/L
5	M BOD	=	Qave x BOD		0,3 kg/m ³
6	M COD	=	Qave x COD		11,7 kg/hari
7	M TSS	=	Qave x TSS		16,4 kg/hari
8	M OG	=	Qave x OG		11,4 kg/hari
		=			11,3 kg/hari
III	Removal				
1	M BOD	=	M BOD influen - M BOD effluen		0,0 kg/hari
2	M COD	=	M COD influen - M COD effluen		0,0 kg/hari
3	M TSS	=	M TSS influen - M TSS effluen		1,4 kg/hari
4	M OG	=	M OG influen - M OG effluen		360,2 kg/hari
IV	Efisiensi Removal				
1	% BOD	=	M BOD (removal / influen) x 100%		0%
2	% COD	=	M COD (removal / influen) x 100%		0%
3	% TSS	=	M TSS (removal / influen) x 100%		11%
4	% OG	=	M OG (removal / influen) x 100%		97%

V Pembentukan Gas Metana

1	Konsentrasi COD	=	25-40% konsentrasi OG	
		=	40% x massa OG teremoval	
		=		144,1 kg/hari
2	Total massa COD teremoval	=		144,1 kg/hari
3	1 kg COD teremoval	=		0,35 m ³ biogas
4	Volume gas metana	=	(M COD _{removal} / 1 kg COD) x 0,35 m ³	
		=		50,4 m ³ /hari
5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=		33,7 kg/hari

VI Debit Efluen

1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=		1,3%
2	Specific gravity (Sg)	=		1,03 kg/L
3	Massa lumpur	=	M TSS _{removal} / 1,3%	
		=		108,6 kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=		105,4 L/hari
		=		0,1 m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=		37,0 m ³ /hari

Biofilter Anaerobik Blok 1**I Influen**

1	Qave	=	Q efluen ABR	
		=		37,0 m ³ /hari
2	BOD	=		314 mg/L
		=		0,3 kg/m ³

$$3 \quad \text{COD} = 442 \text{ mg/L} = 0,4 \text{ kg/m}^3$$

$$4 \quad \text{TSS} = 308 \text{ mg/L} = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

$$5 \quad \text{OG} = 304 \text{ mg/L} = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

$$6 \quad \text{M BOD} = \text{Qave} \times \text{BOD} = 11,7 \text{ kg/hari}$$

$$7 \quad \text{M COD} = \text{Qave} \times \text{COD} = 16,4 \text{ kg/hari}$$

$$8 \quad \text{M TSS} = \text{Qave} \times \text{TSS} = 11,4 \text{ kg/hari}$$

$$9 \quad \text{M OG} = \text{Qave} \times \text{OG} = 11,3 \text{ kg/hari}$$

II Efluen

$$1 \quad \text{BOD} = 135 \text{ mg/L} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$2 \quad \text{COD} = 188 \text{ mg/L} = 0,2 \text{ kg/m}^3$$

$$3 \quad \text{TSS} = 84 \text{ mg/L} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$4 \quad \text{OG} = 300 \text{ mg/L} = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

$$5 \quad \text{M BOD} = \text{Qave} \times \text{BOD} = 5,0 \text{ kg/hari}$$

$$6 \quad \text{M COD} = \text{Qave} \times \text{COD} = 7,0 \text{ kg/hari}$$

$$7 \quad \text{M TSS} = \text{Qave} \times \text{TSS}$$

90

8

M OG

=

Qave x OG

3,1 kg/hari

=

11,1 kg/hari

III Removal

1

M BOD

=

M BOD influen - M BOD efluén

=

6,7 kg/hari

2

M COD

=

M COD influen - M COD efluén

=

9,4 kg/hari

3

M TSS

=

M TSS influen - M TSS efluén

=

8,3 kg/hari

4

M OG

=

M OG influen - M OG efluén

=

0,1 kg/hari

IV Efisiensi Removal

1

% BOD

=

M BOD (removal / influen) x 100%

=

57%

2

% COD

=

M COD (removal / influen) x 100%

=

57%

3

% TSS

=

M TSS (removal / influen) x 100%

=

73%

4

% OG

=

M OG (removal / influen) x 100%

=

1%

V Pembentukan Gas Metana

1

Konsentrasi COD

=

25-40% konsentrasi OG

=

40% x massa OG teremoval

=

0,1 kg/hari

2

Total massa COD teremoval

=

9,5 kg/hari

3

1 kg COD teremoval

=

0,35 m³ biogas

4

Volume gas metana

=

(M COD_{removal} / 1 kg COD) x 0,35 m³

=

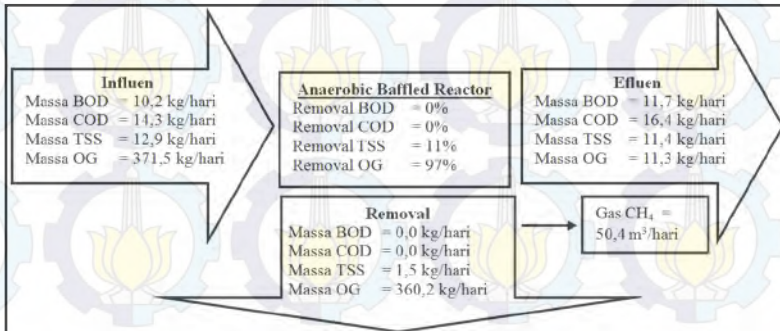
3,3 m³/hari

5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=	2,2	kg/hari
VI Debit Efluen				
1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=	1,3%	
2	Specific gravity (Sg)	=	1,03	kg/L
3	Massa lumpur	=	$M_{TSS\text{ removal}} / 1,3\%$	
		=	640,2	kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=	621,5	L/hari
		=	0,6	m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=	36,4	m ³ /hari

Cek Kesetimbangan Massa

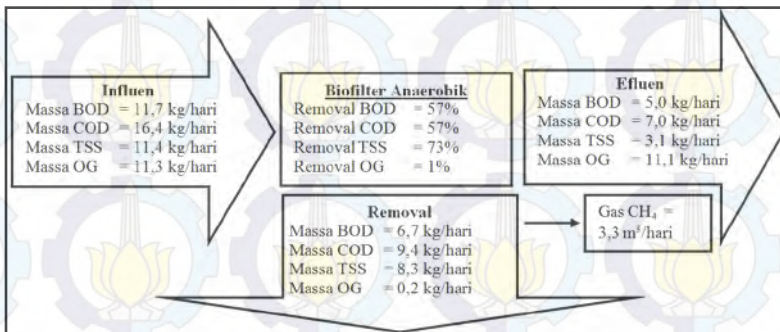
1	Q masuk	=	Vol. lumpur ABR + Vol. lumpur biofilter anaerobik + Q efluen	
	37,2 m ³ /hari	=	(0,1 + 0,6 + 36,4) m ³ /hari	
		=	37,2	m ³ /hari

Diagram alir kesetimbangan massa unit ABR blok 1 dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5. 17 Diagram Alir Mass Balance ABR

Sedangkan diagram alir kesetimbangan massa unit biofilter anaerobik blok 1 ditunjukkan pada Gambar 5.18.



Gambar 5. 18 Diagram Alir Mass Balance Biofilter Anaerobik

Perhitungan kesetimbangan massa pada kedua unit IPAL di blok 2 selanjutnya dijelaskan sebagai berikut:

Anaerobic Baffled Reactor Blok 2

I Influen

1	Qave	=	0,00043 m ³ /det
		=	37,2 m ³ /hari
2	BOD	=	960 mg/L
		=	1,0 kg/m ³
3	COD	=	1352 mg/L
		=	1,4 kg/m ³
4	TSS	=	846 mg/L
		=	0,8 kg/m ³
5	OG	=	9980 mg/L
		=	10,0 kg/m ³
6	M BOD	= Qave x BOD	
		=	35,7 kg/hari
7	M COD	= Qave x COD	
		=	50,2 kg/hari
8	M TSS	= Qave x TSS	
		=	31,4 kg/hari
9	M OG	= Qave x OG	
		=	370,8 kg/hari

II Efluen

1	BOD	=	134 mg/L
		=	0,1 kg/m ³
2	COD	=	188 mg/L
		=	0,2 kg/m ³
3	TSS	=	90 mg/L

94

4 OG

5 M BOD

6 M COD

7 M TSS

8 M OG

III Removal

1 M BOD

2 M COD

3 M TSS

4 M OG

IV Efisiensi Removal

1 % BOD

2 % COD

3 % TSS

4 % OG

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

=

0,1 kg/m³

14816 mg/L

14,8 kg/m³

Qave x BOD

5,0 kg/hari

Qave x COD

7,0 kg/hari

Qave x TSS

3,3 kg/hari

Qave x OG

550,4 kg/hari

M BOD influen - M BOD efluen

30,7 kg/hari

M COD influen - M COD efluen

43,2 kg/hari

M TSS influen - M TSS efluen

28,1 kg/hari

M OG influen - M OG efluen

0,0 kg/hari

M BOD (removal / influen) x 100%

86%

M COD (removal / influen) x 100%

86%

M TSS (removal / influen) x 100%

89%

M OG (removal / influen) x 100%

0%

V Pembentukan Gas Metana

1	Konsentrasi COD	=	25-40% konsentrasi OG	
		=	40% x massa OG teremoval	
		=		0,0 kg/hari
2	Total massa COD teremoval	=		43,2 kg/hari
3	1 kg COD teremoval	=		0,35 m ³ biogas
4	Volume gas metana	=	(M COD _{removal} / 1 kg COD) x 0,35 m ³	
		=		15,1 m ³ /hari
5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=		10,1 kg/hari

VI Debit Efluen

1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=		1,3%
2	Specific gravity (Sg)	=		1,03 kg/L
3	Massa lumpur	=	M TSS _{removal} / 1,3%	
		=		2160,5 kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=		2097,6 L/hari
		=		2,1 m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=		35,1 m ³ /hari

Biofilter Anaerobik Blok 2**I Influen**

1	Qave	=	Q efluen ABR	
		=		35,1 m ³ /hari
2	BOD	=		134 mg/L
		=		0,1 kg/m ³

96

3

COD

=

188 mg/L

=

0,2 kg/m³

4

TSS

=

90 mg/L

=

0,1 kg/m³

5

OG

=

14816 mg/L

=

14,8 kg/m³

6

M BOD

=

Qave x BOD

=

5,0 kg/hari

7

M COD

=

Qave x COD

=

7,0 kg/hari

8

M TSS

=

Qave x TSS

=

3,3 kg/hari

9

M OG

=

Qave x OG

=

550,4 kg/hari

II Efluen

1

BOD

=

142 mg/L

=

0,1 kg/m³

2

COD

=

198 mg/L

=

0,2 kg/m³

3

TSS

=

60 mg/L

=

0,1 kg/m³

4

OG

=

392 mg/L

=

0,4 kg/m³

5

M BOD

=

Qave x BOD

=

5,3 kg/hari

6

M COD

=

Qave x COD

=

7,4 kg/hari

7

M TSS

=

Qave x TSS

$$8 \quad M_{OG} = Q_{ave} \times OG = 2,2 \text{ kg/hari}$$

III Removal

$$1 \quad M_{BOD} = M_{BOD \text{ influen}} - M_{BOD \text{ efluen}} = 14,6 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad M_{COD} = M_{COD \text{ influen}} - M_{COD \text{ efluen}} = 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad M_{TSS} = M_{TSS \text{ influen}} - M_{TSS \text{ efluen}} = 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad M_{OG} = M_{OG \text{ influen}} - M_{OG \text{ efluen}} = 1,1 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

$$1 \quad \% BOD = \frac{M_{BOD \text{ (removal)}}}{M_{BOD \text{ (influen)}}} \times 100\% = 0\%$$

$$2 \quad \% COD = \frac{M_{COD \text{ (removal)}}}{M_{COD \text{ (influen)}}} \times 100\% = 0\%$$

$$3 \quad \% TSS = \frac{M_{TSS \text{ (removal)}}}{M_{TSS \text{ (influen)}}} \times 100\% = 33\%$$

$$4 \quad \% OG = \frac{M_{OG \text{ (removal)}}}{M_{OG \text{ (influen)}}} \times 100\% = 97\%$$

V Pembentukan Gas Metana

$$1 \quad \text{Konsentrasi COD} = 25\text{-}40\% \text{ konsentrasi OG} = 40\% \times \text{massa OG terremoval}$$

$$= 214,4 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad \text{Total massa COD terremoval} = 214,4 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad 1 \text{ kg COD terremoval} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$4 \quad \text{Volume gas metana} = (M_{COD_{\text{removal}}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 \text{ m}^3 = 75,0 \text{ m}^3/\text{hari}$$

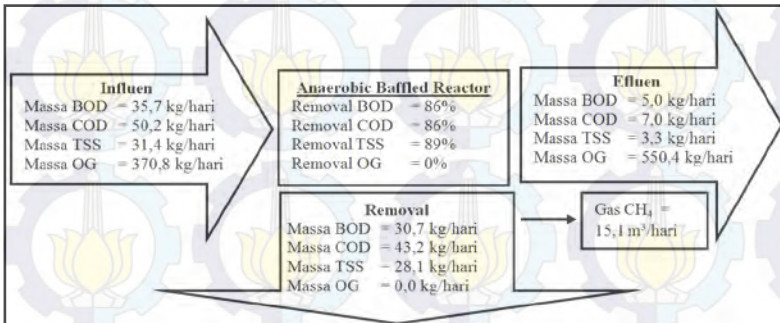
98

5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=		50,1 kg/hari
VI	Debit Efluen			
1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=		1,3%
2	Specific gravity (Sg)	=		1,03 kg/L
3	Massa lumpur	=	$M_{TSS_{removal}} / 1,3\%$	
		=		85,7 kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=		83,2 L/hari
		=		0,1 m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=		35,0 m ³ /hari

Cek Keseimbangan Massa

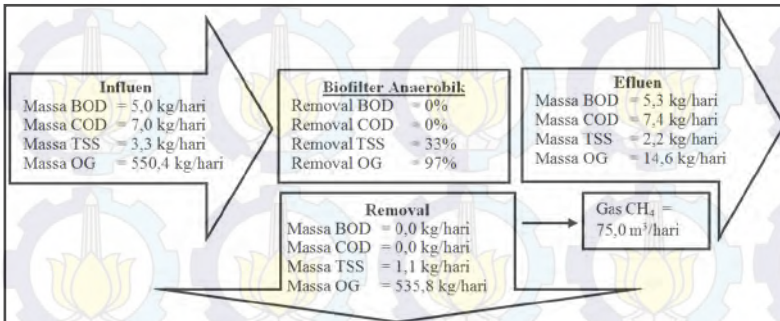
1	Q masuk	=	Vol. lumpur ABR + Vol. lumpur biofilter anaerobik + Q efluen	
	37,2 m ³ /hari	=	(2,1 + 0,1 + 35,0) m ³ /hari	
		=		37,2 m ³ /hari

Diagram alir kesetimbangan massa unit ABR blok 2 dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5. 19 Diagram Alir Mass Balance ABR

Sedangkan diagram alir kesetimbangan massa unit biofilter anaerobik blok 2 ditunjukkan pada Gambar 5.20.



Gambar 5. 20 Diagram Alir Mass Balance Biofilter Anaerobik

5.6.3 Kestimbangan Massa pada Sampel Uji Ketiga

Anaerobic Baffled Reactor Blok 1

I Influen

1	Qave	=	0,00043 m ³ /det
		=	37,2 m ³ /hari
2	BOD	=	286 mg/L
		=	0,3 kg/m ³
3	COD	=	397 mg/L
		=	0,4 kg/m ³
4	TSS	=	354 mg/L
		=	0,4 kg/m ³
5	OG	=	14540 mg/L
		=	14,5 kg/m ³
6	M BOD	= Qave x BOD	
		=	10,6 kg/hari
7	M COD	= Qave x COD	
		=	14,7 kg/hari
8	M TSS	= Qave x TSS	
		=	13,2 kg/hari
9	M OG	= Qave x OG	
		=	540,2 kg/hari

II Efluen

1	BOD	=	150 mg/L
		=	0,2 kg/m ³
2	COD	=	210 mg/L
		=	0,2 kg/m ³
3	TSS	=	110 mg/L

					0,1 kg/m ³
4	OG	=			252 mg/L
		=			0,3 kg/m ³
5	M BOD	=	Qave x BOD		
		=			5,6 kg/hari
6	M COD	=	Qave x COD		
		=			7,8 kg/hari
7	M TSS	=	Qave x TSS		
		=			4,1 kg/hari
8	M OG	=	Qave x OG		
		=			9,4 kg/hari
III	Removal				
1	M BOD	=	M BOD influen - M BOD effluen		
		=			5,1 kg/hari
2	M COD	=	M COD influen - M COD effluen		
		=			6,9 kg/hari
3	M TSS	=	M TSS influen - M TSS effluen		
		=			9,1 kg/hari
4	M OG	=	M OG influen - M OG effluen		
		=			530,8 kg/hari
IV	Efisiensi Removal				
1	% BOD	=	M BOD (removal / influen) x 100%		
		=			48%
2	% COD	=	M COD (removal / influen) x 100%		
		=			47%
3	% TSS	=	M TSS (removal / influen) x 100%		
		=			69%
4	% OG	=	M OG (removal / influen) x 100%		
		=			98%

V Pembentukan Gas Metana

1	Konsentrasi COD	=	25-40% konsentrasi OG	
		=	40% x massa OG teremoval	
		=		212,3 kg/hari
2	Total massa COD teremoval	=		219,3 kg/hari
3	1 kg COD teremoval	=		0,35 m ³ biogas
4	Volume gas metana	=	(M COD _{removal} / 1 kg COD) x 0,35 m ³	
		=		76,7 m ³ /hari
5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=		51,3 kg/hari

VI Debit Efluen

1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=		1,3%
2	Specific gravity (Sg)	=		1,03 kg/L
3	Massa lumpur	=	M TSS _{removal} / 1,3%	
		=		697,3 kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=		677,0 L/hari
		=		0,7 m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=		36,5 m ³ /hari

Biofilter Anaerobik Blok 1**I Influen**

1	Qave	=	Q efluen ABR	
		=		36,5 m ³ /hari
2	BOD	=		150 mg/L
		=		0,2 kg/m ³

$$3 \quad \text{COD} = 210 \text{ mg/L} = 0,2 \text{ kg/m}^3$$

$$4 \quad \text{TSS} = 110 \text{ mg/L} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$5 \quad \text{OG} = 252 \text{ mg/L} = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

$$6 \quad \text{M BOD} = \text{Qave} \times \text{BOD} = 5,6 \text{ kg/hari}$$

$$7 \quad \text{M COD} = \text{Qave} \times \text{COD} = 7,8 \text{ kg/hari}$$

$$8 \quad \text{M TSS} = \text{Qave} \times \text{TSS}$$

$$9 \quad \text{M OG} = \text{Qave} \times \text{OG} = 4,1 \text{ kg/hari}$$

$$9 \quad \text{M OG} = \text{Qave} \times \text{OG} = 9,4 \text{ kg/hari}$$

II Efluen

$$1 \quad \text{BOD} = 180 \text{ mg/L} = 0,2 \text{ kg/m}^3$$

$$2 \quad \text{COD} = 254 \text{ mg/L} = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

$$3 \quad \text{TSS} = 160 \text{ mg/L}$$

$$4 \quad \text{OG} = 0,2 \text{ kg/m}^3$$

$$4 \quad \text{OG} = 8448 \text{ mg/L} = 8,4 \text{ kg/m}^3$$

$$5 \quad \text{M BOD} = \text{Qave} \times \text{BOD} = 6,7 \text{ kg/hari}$$

$$6 \quad \text{M COD} = \text{Qave} \times \text{COD} = 9,4 \text{ kg/hari}$$

$$7 \quad \text{M TSS} = \text{Qave} \times \text{TSS}$$

$$8 \quad M_{OG} = Q_{ave} \times OG = 5,9 \text{ kg/hari}$$

$$= 313,9 \text{ kg/hari}$$

III Removal

$$1 \quad M_{BOD} = M_{BOD \text{ influen}} - M_{BOD \text{ efluen}} = 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad M_{COD} = M_{COD \text{ influen}} - M_{COD \text{ efluen}}$$

$$= 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad M_{TSS} = M_{TSS \text{ influen}} - M_{TSS \text{ efluen}}$$

$$= 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad M_{OG} = M_{OG \text{ influen}} - M_{OG \text{ efluen}}$$

$$= 0,0 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

$$1 \quad \% BOD = \frac{M_{BOD \text{ (removal / influen)}}}{M_{BOD \text{ influen}}} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$2 \quad \% COD = \frac{M_{COD \text{ (removal / influen)}}}{M_{COD \text{ influen}}} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$3 \quad \% TSS = \frac{M_{TSS \text{ (removal / influen)}}}{M_{TSS \text{ influen}}} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$4 \quad \% OG = \frac{M_{OG \text{ (removal / influen)}}}{M_{OG \text{ influen}}} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

V Pembentukan Gas Metana

$$1 \quad \text{Konsentrasi COD} = 25\text{-}40\% \text{ konsentrasi OG}$$

$$= 40\% \times \text{massa OG teremoval}$$

$$= 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad \text{Total massa COD teremoval} = 0,0 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad 1 \text{ kg COD teremoval} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$4 \quad \text{Volume gas metana} = (M_{COD_{\text{removal}}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 \text{ m}^3$$

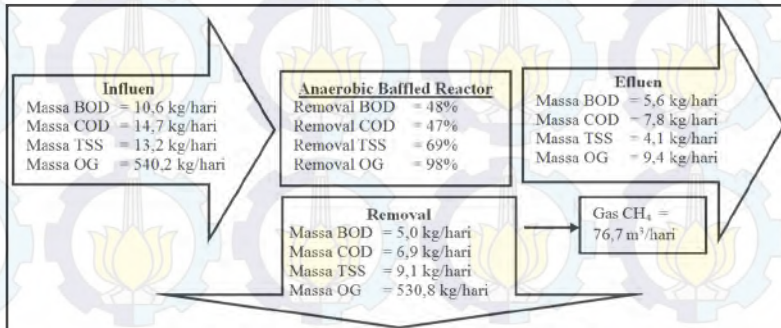
$$= 0,0 \text{ m}^3/\text{hari}$$

5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=	0,0	kg/hari
VI Debit Efluen				
1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=	1,3%	
2	Specific gravity (Sg)	=	1,03	kg/L
3	Massa lumpur	=	$M_{TSS\text{ removal}} / 1,3\%$	
		=	0,0	kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=	0,0	L/hari
		=	0,0	m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=	36,5	m ³ /hari

Cek Kesetimbangan Massa

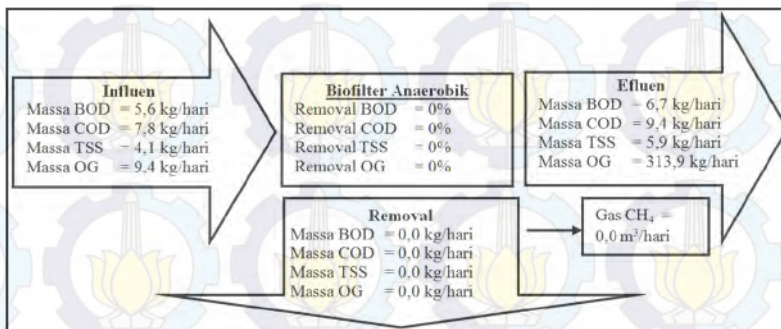
1	Q masuk	=	Vol. lumpur ABR + Vol. lumpur biofilter anaerobik + Q efluen	
	37,2 m ³ /hari	=	(0,7 + 0,0 + 36,5) m ³ /hari	
		=	37,2	m ³ /hari

Diagram alir kesetimbangan massa unit ABR blok 1 dapat dilihat pada Gambar 5.21.



Gambar 5. 21 Diagram Alir Mass Balance ABR

Sedangkan diagram alir kesetimbangan massa unit biofilter anaerobik blok 1 ditunjukkan pada Gambar 5.22.



Gambar 5. 22 Diagram Alir Mass Balance Biofilter Anaerobik

Perhitungan kesetimbangan massa pada kedua unit IPAL di blok 2 selanjutnya dijelaskan sebagai berikut.

Anaerobic Baffled Reactor Blok 2

I Influen

1	Qave	=	0,00043	m ³ /det
		=	37,2	m ³ /hari
2	BOD	=	430	mg/L
		=	0,4	kg/m ³
3	COD	=	596	mg/L
		=	0,6	kg/m ³
4	TSS	=	878	mg/L
		=	0,9	kg/m ³
5	OG	=	12016	mg/L
		=	12,0	kg/m ³
6	M BOD	=	Qave x BOD	
		=	16,0	kg/hari
7	M COD	=	Qave x COD	
		=	22,1	kg/hari
8	M TSS	=	Qave x TSS	
		=	32,6	kg/hari
9	M OG	=	Qave x OG	
		=	446,4	kg/hari

II Efluen

1	BOD	=	152	mg/L
		=	0,2	kg/m ³
2	COD	=	210	mg/L
		=	0,2	kg/m ³
3	TSS	=	124	mg/L

108

4 OG

=

0,1 kg/m³

=

16652 mg/L

=

16,7 kg/m³

5 M BOD

=

Qave x BOD

=

5,6 kg/hari

6 M COD

=

Qave x COD

=

7,8 kg/hari

7 M TSS

=

Qave x TSS

=

4,6 kg/hari

8 M OG

=

Qave x OG

=

618,7 kg/hari

III Removal

1 M BOD

=

M BOD influen - M BOD efluen

=

10,3 kg/hari

2 M COD

=

M COD influen - M COD efluen

=

14,3 kg/hari

3 M TSS

=

M TSS influen - M TSS efluen

=

28,0 kg/hari

4 M OG

=

M OG influen - M OG efluen

=

0,0 kg/hari

IV Efisiensi Removal

1 % BOD

=

M BOD (removal / influen) x 100%

=

65%

2 % COD

=

M COD (removal / influen) x 100%

=

65%

3 % TSS

=

M TSS (removal / influen) x 100%

=

86%

4 % OG

=

M OG (removal / influen) x 100%

=

0%

V Pembentukan Gas Metana

1	Konsentrasi COD	=	25-40% konsentrasi OG	
		=	40% x massa OG teremoval	
		=	0,0	kg/hari
2	Total massa COD teremoval	=	14,3	kg/hari
3	1 kg COD teremoval	=	0,35	m ³ biogas
4	Volume gas metana	=	(M COD _{removal} / 1 kg COD) x 0,35 m ³	
		=	5,0	m ³ /hari
5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=	3,4	kg/hari

VI Debit Efluen

1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=	1,3%	
2	Specific gravity (Sg)	=	1,03	kg/L
3	Massa lumpur	=	M TSS _{removal} / 1,3%	
		=	2154,8	kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=	2092,1	L/hari
		=	2,1	m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=	35,1	m ³ /hari

Biofilter Anaerobik Blok 2**I Influen**

1	Qave	=	Q efluen ABR	
		=	35,1	m ³ /hari
2	BOD	=	152	mg/L
		=	0,2	kg/m ³

110

3

COD

=

210 mg/L

0,2 kg/m³

4

TSS

=

124 mg/L

0,1 kg/m³

5

OG

=

16652 mg/L

16,7 kg/m³

6

M BOD

=

Qave x BOD

5,6 kg/hari

7

M COD

=

Qave x COD

7,8 kg/hari

8

M TSS

=

Qave x TSS

4,6 kg/hari

9

M OG

=

Qave x OG

618,7 kg/hari

II Efluen

1

BOD

=

134 mg/L

0,1 kg/m³

2

COD

=

188 mg/L

0,2 kg/m³

3

TSS

=

58 mg/L

0,1 kg/m³

4

OG

=

60 mg/L

0,1 kg/m³

5

M BOD

=

Qave x BOD

5,0 kg/hari

6

M COD

=

Qave x COD

7,0 kg/hari

7

M TSS

=

Qave x TSS

$$8 \quad M_{OG} = Q_{ave} \times OG = 2,2 \text{ kg/hari}$$

III Removal

$$1 \quad M_{BOD} = M_{BOD \text{ influen}} - M_{BOD \text{ efluen}} = 2,2 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad M_{COD} = M_{COD \text{ influen}} - M_{COD \text{ efluen}} = 0,7 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad M_{TSS} = M_{TSS \text{ influen}} - M_{TSS \text{ efluen}} = 0,8 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad M_{OG} = M_{OG \text{ influen}} - M_{OG \text{ efluen}} = 2,5 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

$$1 \quad \% BOD = \frac{M_{BOD \text{ (removal)}}}{M_{BOD \text{ (influen)}}} \times 100\% = 12\%$$

$$2 \quad \% COD = \frac{M_{COD \text{ (removal)}}}{M_{COD \text{ (influen)}}} \times 100\% = 10\%$$

$$3 \quad \% TSS = \frac{M_{TSS \text{ (removal)}}}{M_{TSS \text{ (influen)}}} \times 100\% = 53\%$$

$$4 \quad \% OG = \frac{M_{OG \text{ (removal)}}}{M_{OG \text{ (influen)}}} \times 100\% = 100\%$$

V Pembentukan Gas Metana

$$1 \quad \text{Konsentrasi COD} = 25\text{-}40\% \text{ konsentrasi OG} = 40\% \times \text{massa OG terremoval}$$

$$= 246,6 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad \text{Total massa COD terremoval} = 247,4 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad 1 \text{ kg COD terremoval} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$4 \quad \text{Volume gas metana} = (M_{COD \text{ removal}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 \text{ m}^3 = 86,6 \text{ m}^3/\text{hari}$$

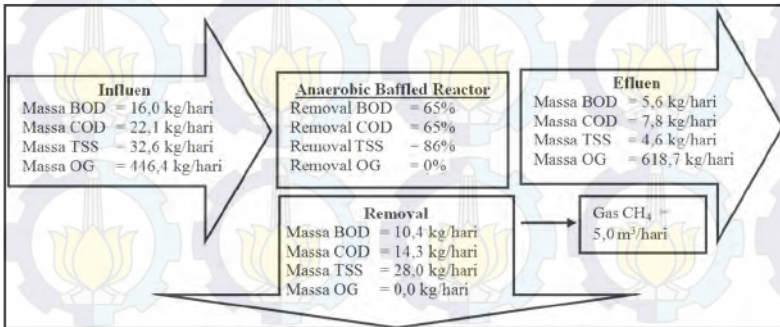
112

5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=		57,8 kg/hari
VI	Debit Efluen			
1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=		1,3%
2	Specific gravity (Sg)	=		1,03 kg/L
3	Massa lumpur	=	$M_{TSS_{removal}} / 1,3\%$	
		=		188,6 kg/hari
4	Volume lumpur	=	$Massa\ lumpur / 1,03\ kg/L$	
		=		183,1 L/hari
		=		0,2 m ³ /hari
5	Q efluen	=	$Q\ influen - Volume\ lumpur$	
		=		34,9 m ³ /hari

Cek Kesetimbangan Massa

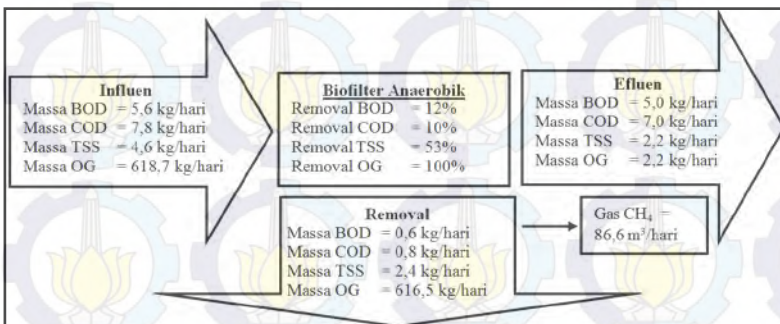
1	Q masuk	=	Vol. lumpur ABR + Vol. lumpur biofilter anaerobik + Q efluen	
	37,2 m ³ /hari	=	$(2,1 + 0,2 + 34,9)\ m^3/hari$	
		=		37,2 m ³ /hari

Diagram alir kesetimbangan massa unit ABR blok 2 dapat dilihat pada Gambar 5.23.



Gambar 5. 23 Diagram Alir *Mass Balance* ABR

Sedangkan diagram alir kesetimbangan massa unit biofilter anaerobik blok 2 ditunjukkan pada Gambar 5.24.



Gambar 5. 24 Diagram Alir *Mass Balance* Biofilter Anaerobik

5.6.4 Kestimbangan Massa pada Sampel Uji Keempat

Anaerobic Baffled Reactor Blok 1

I Influen

1	Qave	=	0,00043 m ³ /det
		=	37,2 m ³ /hari
2	BOD	=	240 mg/L
		=	0,2 kg/m ³
3	COD	=	342 mg/L
		=	0,3 kg/m ³
4	TSS	=	462 mg/L
		=	0,5 kg/m ³
5	OG	=	176 mg/L
		=	0,2 kg/m ³
6	M BOD	= Qave x BOD	
		=	8,9 kg/hari
7	M COD	= Qave x COD	
		=	12,7 kg/hari
8	M TSS	= Qave x TSS	
		=	17,2 kg/hari
9	M OG	= Qave x OG	
		=	6,5 kg/hari

II Efluen

1	BOD	=	136 mg/L
		=	0,1 kg/m ³
2	COD	=	188 mg/L
		=	0,2 kg/m ³
3	TSS	=	132 mg/L

		=		0,1 kg/m ³
4	OG	=		14388 mg/L
		=		14,4 kg/m ³
5	M BOD	=	Qave x BOD	
		=		5,1 kg/hari
6	M COD	=	Qave x COD	
		=		7,0 kg/hari
7	M TSS	=	Qave x TSS	
		=		4,9 kg/hari
8	M OG	=	Qave x OG	
		=		534,5 kg/hari
III	Removal			
1	M BOD	=	M BOD influen - M BOD effluen	
		=		3,9 kg/hari
2	M COD	=	M COD influen - M COD effluen	
		=		5,7 kg/hari
3	M TSS	=	M TSS influen - M TSS effluen	
		=		12,3 kg/hari
4	M OG	=	M OG influen - M OG effluen	
		=		0,0 kg/hari
IV	Efisiensi Removal			
1	% BOD	=	M BOD (removal / influen) x 100%	
		=		43%
2	% COD	=	M COD (removal / influen) x 100%	
		=		45%
3	% TSS	=	M TSS (removal / influen) x 100%	
		=		71%
4	% OG	=	M OG (removal / influen) x 100%	
		=		0%

V Pembentukan Gas Metana

1	Konsentrasi COD	=	25-40% konsentrasi OG	
		=	40% x massa OG teremoval	
		=		0,0 kg/hari
2	Total massa COD teremoval	=		5,7 kg/hari
3	1 kg COD teremoval	=		m^3 biogas
4	Volume gas metana	=	$(M \text{ COD}_{\text{removal}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 m^3$	
		=		2,0 m^3 /hari
5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/ m^3
6	Massa gas metana	=	$\rho \text{ gas metana} \times \text{volume gas metana}$	
		=		1,3 kg/hari

VI Debit Efluen

1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=		1,3%
2	Specific gravity (Sg)	=		1,03 kg/L
3	Massa lumpur	=	$M \text{ TSS}_{\text{removal}} / 1,3\%$	
		=		943,1 kg/hari
4	Volume lumpur	=	$\text{Massa lumpur} / 1,03 \text{ kg/L}$	
		=		915,6 L/hari
		=		0,9 m^3 /hari
5	Q efluen	=	$Q \text{ influen} - \text{Volume lumpur}$	
		=		36,2 m^3 /hari

Biofilter Anaerobik Blok 1**I Influen**

1	Qave	=	$Q \text{ efluen ABR}$	
		=		36,2 m^3 /hari
2	BOD	=		136 mg/L
		=		0,1 kg/ m^3

$$3 \quad \text{COD} = 188 \text{ mg/L} = 0,2 \text{ kg/m}^3$$

$$4 \quad \text{TSS} = 132 \text{ mg/L} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$5 \quad \text{OG} = 14388 \text{ mg/L} = 14,4 \text{ kg/m}^3$$

$$6 \quad \text{M BOD} = \text{Qave} \times \text{BOD} = 5,1 \text{ kg/hari}$$

$$7 \quad \text{M COD} = \text{Qave} \times \text{COD} = 7,0 \text{ kg/hari}$$

$$8 \quad \text{M TSS} = \text{Qave} \times \text{TSS}$$

$$9 \quad \text{M OG} = \text{Qave} \times \text{OG} = 4,9 \text{ kg/hari}$$

$$9 \quad \text{M OG} = \text{Qave} \times \text{OG} = 534,5 \text{ kg/hari}$$

II Efluen

$$1 \quad \text{BOD} = 120 \text{ mg/L} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$2 \quad \text{COD} = 166 \text{ mg/L} = 0,2 \text{ kg/m}^3$$

$$3 \quad \text{TSS} = 60 \text{ mg/L}$$

$$4 \quad \text{OG} = 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$4 \quad \text{OG} = 232 \text{ mg/L} = 0,2 \text{ kg/m}^3$$

$$5 \quad \text{M BOD} = \text{Qave} \times \text{BOD} = 4,5 \text{ kg/hari}$$

$$6 \quad \text{M COD} = \text{Qave} \times \text{COD} = 6,2 \text{ kg/hari}$$

$$7 \quad \text{M TSS} = \text{Qave} \times \text{TSS}$$

$$8 \quad M_{OG} = Q_{ave} \times OG = 2,2 \text{ kg/hari}$$

$$= 8,6 \text{ kg/hari}$$

III Removal

$$1 \quad M_{BOD} = M_{BOD \text{ influen}} - M_{BOD \text{ efluen}} = 0,6 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad M_{COD} = M_{COD \text{ influen}} - M_{COD \text{ efluen}}$$

$$= 0,8 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad M_{TSS} = M_{TSS \text{ influen}} - M_{TSS \text{ efluen}}$$

$$= 2,7 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad M_{OG} = M_{OG \text{ influen}} - M_{OG \text{ efluen}}$$

$$= 525,9 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

$$1 \quad \% BOD = \frac{M_{BOD \text{ (removal / influen)}}}{M_{BOD \text{ influen}}} \times 100\% = 12\%$$

$$2 \quad \% COD = \frac{M_{COD \text{ (removal / influen)}}}{M_{COD \text{ influen}}} \times 100\%$$

$$= 12\%$$

$$3 \quad \% TSS = \frac{M_{TSS \text{ (removal / influen)}}}{M_{TSS \text{ influen}}} \times 100\%$$

$$= 55\%$$

$$4 \quad \% OG = \frac{M_{OG \text{ (removal / influen)}}}{M_{OG \text{ influen}}} \times 100\%$$

$$= 98\%$$

V Pembentukan Gas Metana

$$1 \quad \text{Konsentrasi COD} = 25-40\% \text{ konsentrasi OG}$$

$$= 40\% \times \text{massa OG teremoval} = 210,4 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad \text{Total massa COD teremoval} = 211,2 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad 1 \text{ kg COD teremoval} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$4 \quad \text{Volume gas metana} = (M_{COD_{\text{removal}}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 \text{ m}^3$$

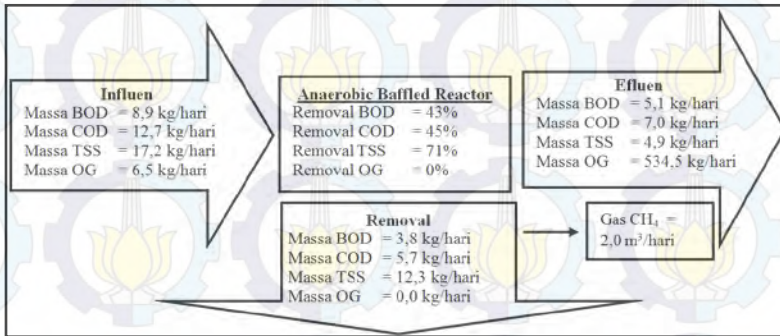
$$= 73,9 \text{ m}^3/\text{hari}$$

5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=	49,4	kg/hari
VI Debit Efluen				
1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=	1,3%	
2	Specific gravity (Sg)	=	1,03	kg/L
3	Massa lumpur	=	$M_{TSS\text{ removal}} / 1,3\%$	
		=	205,8	kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=	199,8	L/hari
		=	0,2	m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=	36,0	m ³ /hari

Cek Kesetimbangan Massa

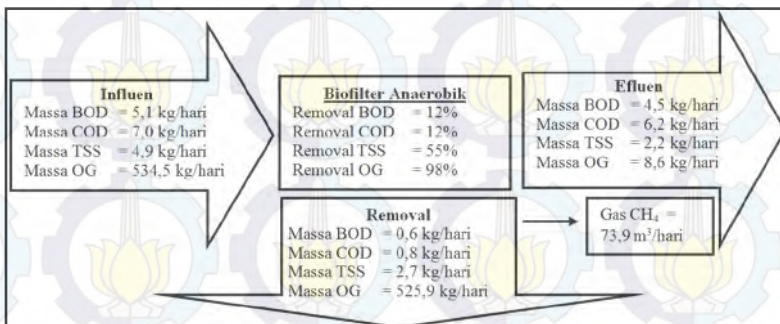
1	Q masuk	=	Vol. lumpur ABR + Vol. lumpur biofilter anaerobik + Q efluen	
	37,2 m ³ /hari	=	(0,9 + 0,2 + 36,0) m ³ /hari	
		=	37,2	m ³ /hari

Diagram alir kesetimbangan massa unit ABR blok 1 dapat dilihat pada Gambar 5.25.



Gambar 5. 25 Diagram Alir Mass Balance ABR

Sedangkan diagram alir kesetimbangan massa unit biofilter anaerobik blok 1 ditunjukkan pada Gambar 5.26.



Gambar 5. 26 Diagram Alir Mass Balance Biofilter Anaerobik

Perhitungan kesetimbangan massa pada kedua unit IPAL di blok 2 selanjutnya dijelaskan sebagai berikut.

Anaerobic Baffled Reactor Blok 2

I Influen

1	Qave	=	0,00043	m ³ /det
		=	37,2	m ³ /hari
2	BOD	=	310	mg/L
		=	0,3	kg/m ³
3	COD	=	430	mg/L
		=	0,4	kg/m ³
4	TSS	=	570	mg/L
		=	0,6	kg/m ³
5	OG	=	13916	mg/L
		=	13,9	kg/m ³
6	M BOD	=	Qave x BOD	
		=	11,5	kg/hari
7	M COD	=	Qave x COD	
		=	16,0	kg/hari
8	M TSS	=	Qave x TSS	
		=	21,2	kg/hari
9	M OG	=	Qave x OG	
		=	517,0	kg/hari

II Efluen

1	BOD	=	112	mg/L
		=	0,1	kg/m ³
2	COD	=	155	mg/L
		=	0,2	kg/m ³
3	TSS	=	58	mg/L

122

4 OG

$$= 0,1 \text{ kg/m}^3$$

$$= 4352 \text{ mg/L}$$

5 M BOD

$$= 4,4 \text{ kg/m}^3$$

$$= Q_{ave} \times \text{BOD}$$

6 M COD

$$= 4,2 \text{ kg/hari}$$

$$= Q_{ave} \times \text{COD}$$

7 M TSS

$$= 5,8 \text{ kg/hari}$$

$$= Q_{ave} \times \text{TSS}$$

8 M OG

$$= 2,2 \text{ kg/hari}$$

$$= Q_{ave} \times \text{OG}$$

$$= 161,7 \text{ kg/hari}$$

III Removal

1 M BOD

$$= \text{M BOD influen} - \text{M BOD efluen}$$

$$= 7,4 \text{ kg/hari}$$

2 M COD

$$= \text{M COD influen} - \text{M COD efluen}$$

$$= 10,2 \text{ kg/hari}$$

3 M TSS

$$= \text{M TSS influen} - \text{M TSS efluen}$$

$$= 19,0 \text{ kg/hari}$$

4 M OG

$$= \text{M OG influen} - \text{M OG efluen}$$

$$= 355,3 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

1 % BOD

$$= \text{M BOD (removal / influen)} \times 100\%$$

$$= 64\%$$

2 % COD

$$= \text{M COD (removal / influen)} \times 100\%$$

$$= 64\%$$

3 % TSS

$$= \text{M TSS (removal / influen)} \times 100\%$$

$$= 90\%$$

4 % OG

$$= \text{M OG (removal / influen)} \times 100\%$$

$$= 69\%$$

V Pembentukan Gas Metana

1	Konsentrasi COD	=	25-40% konsentrasi OG	
		=	40% x massa OG teremoval	
		=		142,1 kg/hari
2	Total massa COD teremoval	=		152,3 kg/hari
3	1 kg COD teremoval	=		0,35 m ³ biogas
4	Volume gas metana	=	(M COD _{removal} / 1 kg COD) x 0,35 m ³	
		=		53,3 m ³ /hari
5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=		35,6 kg/hari

VI Debit Efluen

1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=	1,3%	
2	Specific gravity (Sg)	=	1,03	kg/L
3	Massa lumpur	=	M TSS _{removal} / 1,3%	
		=		1463,2 kg/hari
4	Volume lumpur	=	Massa lumpur / 1,03 kg/L	
		=		1420,6 L/hari
		=		1,4 m ³ /hari
5	Q efluen	=	Q influen - Volume lumpur	
		=		35,7 m ³ /hari

Biofilter Anaerobik Blok 2**I Influen**

1	Qave	=	Q efluen ABR	
		=		35,7 m ³ /hari
2	BOD	=		112 mg/L
		=		0,1 kg/m ³

124

3	COD	=	=	155 mg/L
		=		0,2 kg/m ³
4	TSS	=	=	58 mg/L
		=		0,1 kg/m ³
5	OG	=	=	4352 mg/L
		=		4,4 kg/m ³
6	M BOD	=	Qave x BOD	
		=		4,2 kg/hari
7	M COD	=	Qave x COD	
		=		5,8 kg/hari
8	M TSS	=	Qave x TSS	
		=		2,2 kg/hari
9	M OG	=	Qave x OG	
		=		161,7 kg/hari

II Efluen

1	BOD	=	=	98 mg/L
		=		0,1 kg/m ³
2	COD	=	=	138 mg/L
		=		0,1 kg/m ³
3	TSS	=	=	46 mg/L
		=		0,0 kg/m ³
4	OG	=	=	56 mg/L
		=		0,1 kg/m ³
5	M BOD	=	Qave x BOD	
		=		3,6 kg/hari
6	M COD	=	Qave x COD	
		=		5,1 kg/hari
7	M TSS	=	Qave x TSS	

$$8 \quad M_{OG} = Q_{ave} \times OG = 1,7 \text{ kg/hari}$$

III Removal

$$1 \quad M_{BOD} = M_{BOD \text{ influen}} - M_{BOD \text{ effluen}} = 2,1 \text{ kg/hari}$$

$$2 \quad M_{COD} = M_{COD \text{ influen}} - M_{COD \text{ effluen}} = 0,5 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad M_{TSS} = M_{TSS \text{ influen}} - M_{TSS \text{ effluen}} = 0,6 \text{ kg/hari}$$

$$4 \quad M_{OG} = M_{OG \text{ influen}} - M_{OG \text{ effluen}} = 0,4 \text{ kg/hari}$$

IV Efisiensi Removal

$$1 \quad \% BOD = \frac{M_{BOD \text{ (removal)}}}{M_{BOD \text{ (influen)}}} \times 100\% = 13\%$$

$$2 \quad \% COD = \frac{M_{COD \text{ (removal)}}}{M_{COD \text{ (influen)}}} \times 100\% = 11\%$$

$$3 \quad \% TSS = \frac{M_{TSS \text{ (removal)}}}{M_{TSS \text{ (influen)}}} \times 100\% = 21\%$$

$$4 \quad \% OG = \frac{M_{OG \text{ (removal)}}}{M_{OG \text{ (influen)}}} \times 100\% = 99\%$$

V Pembentukan Gas Metana

$$1 \quad \text{Konsentrasi COD} = 25\text{-}40\% \text{ konsentrasi OG} = 40\% \times \text{massa OG terremoval}$$

$$2 \quad \text{Total massa COD terremoval} = 63,8 \text{ kg/hari} = 64,5 \text{ kg/hari}$$

$$3 \quad 1 \text{ kg COD terremoval} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas}$$

$$4 \quad \text{Volume gas metana} = (M_{COD \text{ removal}} / 1 \text{ kg COD}) \times 0,35 \text{ m}^3 = 22,6 \text{ m}^3/\text{hari}$$

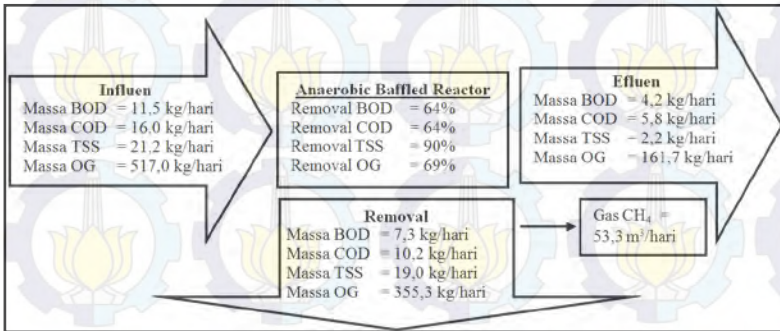
126

5	Massa jenis metana (ρ)	=	0,668	kg/m ³
6	Massa gas metana	=	ρ gas metana x volume gas metana	
		=		15,1 kg/hari
VI	Debit Efluen			
1	Konsentrasi SS dalam lumpur	=		1,3%
2	Specific gravity (Sg)	=		1,03 kg/L
3	Massa lumpur	=	$M_{TSS_{removal}} / 1,3\%$	
		=		34,3 kg/hari
4	Volume lumpur	=	$Massa\ lumpur / 1,03\ kg/L$	
		=		33,3 L/hari
		=		0,0 m ³ /hari
5	Q efluen	=	$Q\ influen - Volume\ lumpur$	
		=		35,7 m ³ /hari

Cek Kesetimbangan Massa

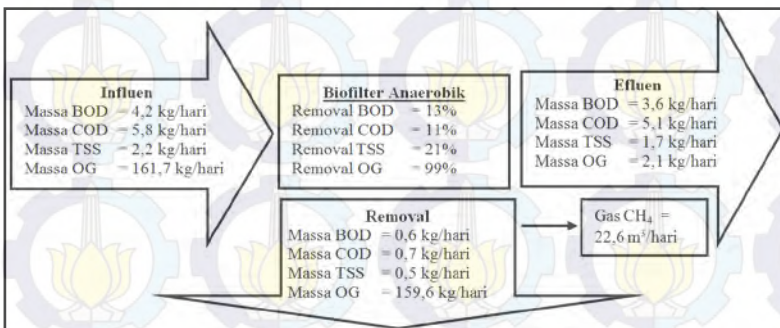
1	Q masuk	=	Vol. lumpur ABR + Vol. lumpur biofilter anaerobik + Q efluen	
	37,2 m ³ /hari	=	$(1,4 + 0,0 + 35,7)\ m^3/hari$	
		=		37,2 m ³ /hari

Diagram alir kesetimbangan massa unit ABR blok 2 dapat dilihat pada Gambar 5.27.



Gambar 5. 27 Diagram Alir Mass Balance ABR

Sedangkan diagram alir kesetimbangan massa unit biofilter anaerobik blok 2 ditunjukkan pada Gambar 5.28.

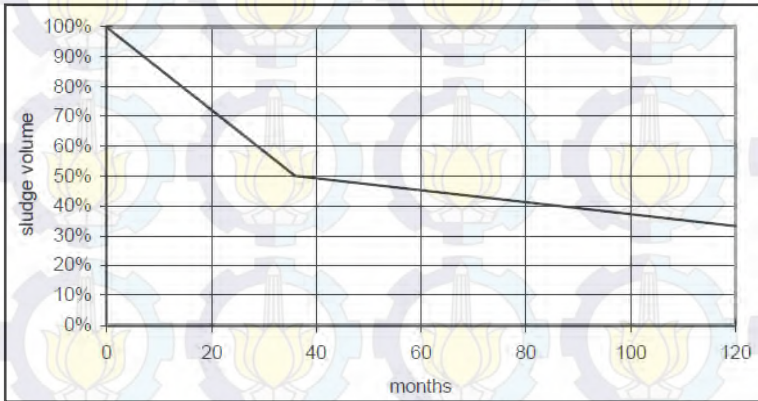


Gambar 5. 28 Diagram Alir Mass Balance Biofilter Anaerobik

Dalam pengolahan biologis, bakteri membutuhkan nutrisi untuk menunjang pertumbuhannya. Adapun sel mikroorganisme tersusun atas senyawa C, H, O, N, P, dan S. Dengan demikian, degradasi biologis membutuhkan N, P, dan S di samping C, H, dan O. Dekomposisi bahan organik secara anaerobik berlangsung dalam proses fermentasi yang melibatkan enzim tertentu. Enzim merupakan molekul terspesialisasi yang bertindak sebagai “kunci” untuk mengubah molekul kompleks pada degradasi selanjutnya. Karbohidrat dan lemak tersusun atas C, H, dan H yang tidak dapat difermentasi dalam bentuk aslinya. Protein tersusun atas beberapa asam amino yang terbentuk dari kelompok COOH dan NH₃ serta P, S, Mg ataupun elemen makro lainnya. Dengan demikian, protein mengandung semua elemen bakteri sehingga dapat difermentasi dalam bentuk aslinya. Adapun rasio senyawa C, N, P, dan S yang disarankan berada pada kisaran 50 : 4 : 1 : 1 untuk mengkondisikan pengolahan berlangsung optimal.

Sasse (1998) menyatakan bahwa maturasi lumpur aktif berlangsung selama tiga bulan (90-100 hari). Lalu lumpur harus dibuang pada waktu tertentu secara reguler seperti pada tangki septik. Beberapa diantaranya sengaja dibiarkan tertinggal untuk menjaga efisiensi pengolahan selanjutnya. Garg (1994) menyatakan bahwa kandungan total padatan lumpur yang terkompaksi di dasar reaktor anaerobik mencapai 30 L/tahun. Terkait dengan beban BOD yang teremoval dalam air limbah, volume 30 L lumpur/tahun setara dengan 15-20 gram BOD teremoval di dalam tangki septik setiap harinya. Hal ini mengindikasikan sebesar 0,005 L lumpur/gr BOD teremoval terakumulasi di dalam tahap pengolahan primer. Dalam penelitian ini, unit ABR berfungsi sebagai unit pengolahan primer.

Pengurasan lumpur secara umum dilakukan pada interval satu sampai tiga tahun sekali. Adapun interval waktu pengurasan telah ditentukan sebelum pembangunan IPAL dilaksanakan. Sasse (1998) mengamati bahwa penurunan lumpur sangat dipengaruhi oleh waktu seperti pada Gambar 5.29.



Gambar 5. 29 Grafik Penurunan Volume Lumpur Selama Penyimpanan

Melalui Gambar 5.29, laju akumulasi lumpur di dalam reaktor dapat dihitung, sehingga dimensi settler lumpur dapat ditentukan selanjutnya. Volume lumpur yang terakumulasi sebaiknya tidak melebihi separuh volume total reaktor. Maka dari itu, perhitungan waktu pengurasan lumpur dijelaskan berikut ini.

Diketahui:

Panjang settler ABR = 1,8 m

Lebar settler ABR = 1,6 m

Kedalaman settler = 1,5 m

Volume settler ABR = $(1,8 \times 1,6 \times 1,5) \text{ m}^3$
 $= 4,32 \text{ m}^3$

Volume pengurasan = $\frac{2}{5} \times 4,32 \text{ m}^3$
 $= 1,7 \text{ m}^3$

Dengan demikian, lumpur pada unit ABR akan dikuras ketika volumenya mencapai $1,7 \text{ m}^3$. Adapun volume lumpur yang dihasilkan setiap harinya merupakan volume lumpur rata-rata selama empat kali pengukuran.

Diketahui:

- ABR Blok 1

Volume lumpur rata – rata = $0,58 \text{ m}^3/\text{hari}$

$$\begin{aligned}
 &= 17,48 \text{ m}^3/\text{bulan} \\
 \text{Jarak waktu pengurasan} &= 2,6 \text{ bulan} \quad (\text{Gambar 5.29}) \\
 \text{Total volume lumpur} &= 17,48 \text{ m}^3/\text{bulan} \times 2,6 \text{ bulan} \\
 &= 45,45 \text{ m}^3 \\
 \text{Penurunan volume lumpur} &= 96\% \\
 \text{Volume lumpur akhir} &= 45,45 \text{ m}^3 - (45,45 \text{ m}^3 \times 96\%) \\
 &= 1,64 \text{ m}^3 \\
 \text{Interval waktu pengurasan} &= 2,6 \text{ bulan} \\
 &= 10 \text{ minggu sekali}
 \end{aligned}$$

- ABR Blok 2

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lumpur rata – rata} &= 1,73 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 51,82 \text{ m}^3/\text{bulan} \\
 \text{Jarak waktu pengurasan} &= 1,5 \text{ bulan} \quad (\text{Gambar 5.29}) \\
 \text{Total volume lumpur} &= 51,82 \text{ m}^3/\text{bulan} \times 1,5 \text{ bulan} \\
 &= 77,72 \text{ m}^3 \\
 \text{Penurunan volume lumpur} &= 98\% \\
 \text{Volume lumpur akhir} &= 77,72 \text{ m}^3 - (77,72 \text{ m}^3 \times 98\%) \\
 &= 1,62 \text{ m}^3 \\
 \text{Interval waktu pengurasan} &= 1,5 \text{ bulan} \\
 &= 6 \text{ minggu sekali}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, pengurasan lumpur pada unit ABR blok 1 dilakukan setiap 10 minggu sekali. Sedangkan pengurasan lumpur pada unit ABR blok 2 setiap 6 minggu sekali.

Selanjutnya perhitungan pengurasan lumpur pada unit biofilter anaerobik dijelaskan sebagai berikut:

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang settler biofilter anaerobik} &= 1,3 \text{ m} \\
 \text{Lebar settler biofilter anaerobik} &= 1,0 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman settler} &= 0,5 \text{ m} \\
 \text{Volume settler biofilter anaerobik} &= (1,3 \times 1,0 \times 0,5) \text{ m}^3 \\
 &= 0,65 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume pengurasan} &= \frac{2}{5} \times 0,65 \text{ m}^3 \\
 &= 0,26 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, lumpur pada unit biofilter anaerobik akan dikuras ketika volumenya mencapai $0,26 \text{ m}^3$. Adapun volume lumpur yang dihasilkan setiap harinya merupakan volume lumpur rata-rata selama empat kali pengukuran.

Diketahui:

- Biofilter Anaerobik Blok 1

Volume lumpur rata – rata = $0,21 \text{ m}^3/\text{hari}$
 = $6,16 \text{ m}^3/\text{bulan}$
 Jarak waktu pengurasan = 1,7 bulan (Gambar 5.29)
 Total volume lumpur = $6,16 \text{ m}^3/\text{bulan} \times 1,7 \text{ bulan}$
 = $10,47 \text{ m}^3$
 Penurunan volume lumpur = 98%
 Volume lumpur akhir = $10,47 \text{ m}^3 - (10,47 \text{ m}^3 \times 98\%)$
 = $0,25 \text{ m}^3$
 Interval waktu pengurasan = 1,7 bulan
 = 6 minggu sekali

- Biofilter Anaerobik Blok 2

Volume lumpur rata – rata = $0,07 \text{ m}^3/\text{hari}$
 = $2,25 \text{ m}^3/\text{bulan}$
 Jarak waktu pengurasan = 2,9 bulan (Gambar 5.29)
 Total volume lumpur = $2,25 \text{ m}^3/\text{bulan} \times 2,9 \text{ bulan}$
 = $6,52 \text{ m}^3$
 Penurunan volume lumpur = 96%
 Volume lumpur akhir = $6,52 \text{ m}^3 - (6,52 \text{ m}^3 \times 96\%)$
 = $0,26 \text{ m}^3$
 Interval waktu pengurasan = 2,9 bulan
 = 11 minggu sekali

Dari hasil perhitungan di atas, pengurasan lumpur pada unit biofilter anaerobik blok 1 dilakukan setiap 6-7 minggu sekali. Sedangkan pengurasan lumpur pada unit biofilter anaerobik blok 2 setiap 11-12 minggu sekali.

Merujuk pada Pergub Jatim No. 72 tahun 2013 di Lampiran A, kualitas efluen IPAL Rusunawa Tanah Merah II belum memenuhi baku mutu. Perbandingan nilai rata-rata kualitas efluen air limbah selama empat kali pengukuran pada IPAL Rusunawa Tanah Merah II dengan nilai baku mutu ditunjukkan pada Tabel 5.25.

Tabel 5. 25 Perbandingan Hasil Analisis Kualitas Efluen

No.	Parameter	Rerata Efluen IPAL		Baku Mutu Limbah Cair	Satuan
		Blok 1	Blok 2		
1	BOD	144	127	30	mg/L
2	COD	202	178	50	mg/L
3	TSS	120	86	50	mg/L
4	OFG	4928	906	10	mg/L
5	pH	7	7	6-9	-

Pembangunan IPAL Rusunawa Tanah Merah II secara teknis telah memenuhi kriteria desain unit bangunan. Namun pada praktiknya, hasil evaluasi menunjukkan bahwa kinerja IPAL belum efektif. Oleh karena itu, disarankan bagi pihak pengelola IPAL untuk membuat *standard operational procedure* (SOP) terkait perawatan unit IPAL Rusunawa Tanah Merah II Surabaya.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian ini adalah:

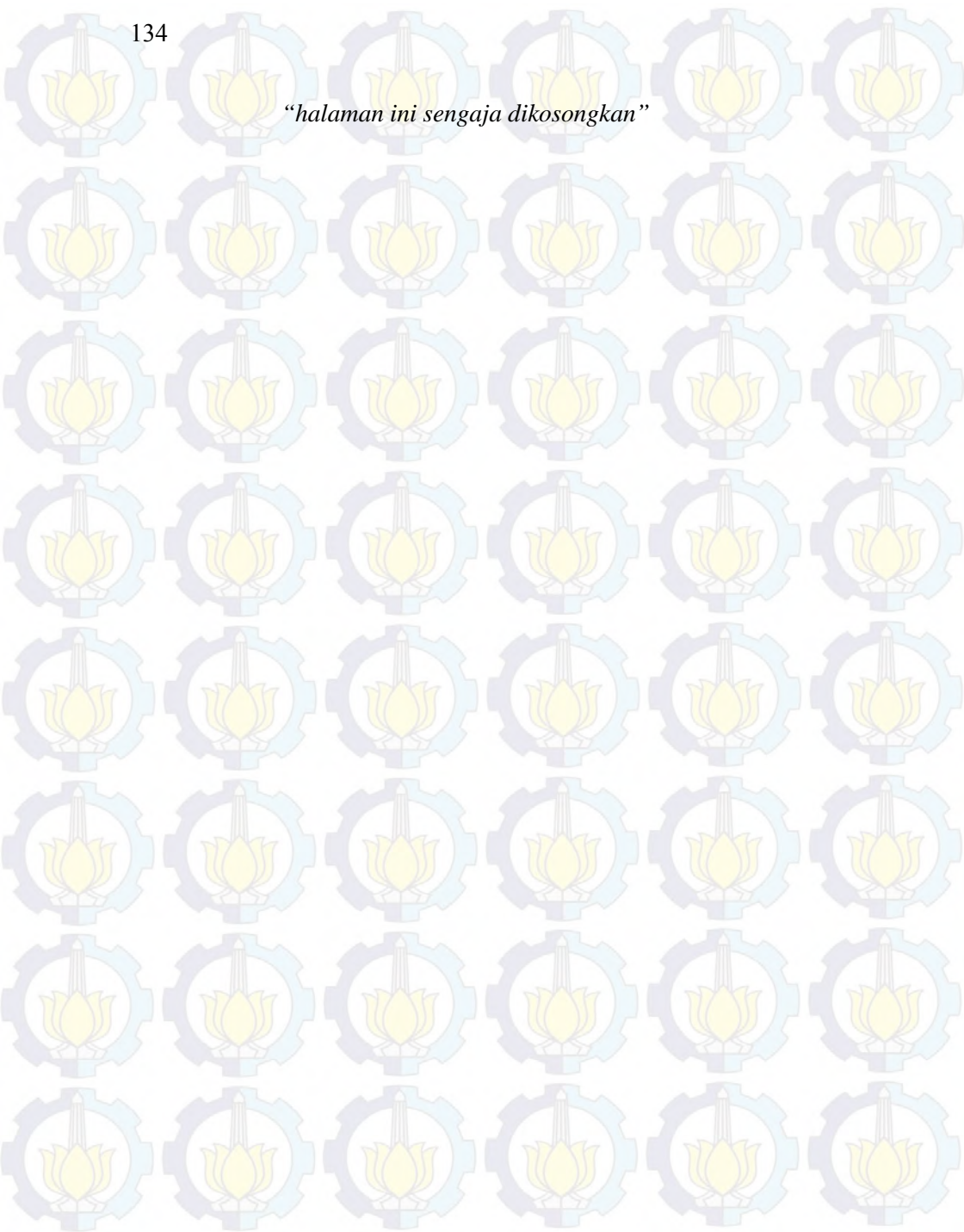
1. Efisiensi removal pada unit ABR di kedua blok mencapai kisaran 40-86% untuk parameter BOD, 41-86% untuk parameter COD, 11-90% untuk parameter TSS, dan 69-98% untuk parameter minyak dan lemak.
2. Efisiensi removal pada unit biofilter anaerobik di kedua blok mencapai kisaran 11-57% untuk parameter BOD, 10-57% untuk parameter COD, 21-73% untuk parameter TSS, dan 1-100% untuk parameter minyak dan lemak.
3. Efluen IPAL Rusunawa Tanah Merah II Surabaya belum memenuhi baku mutu sesuai Pergub Jatim No. 72 tahun 2013.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil studi kinerja IPAL Rusunawa Tanah Merah II, maka dapat ditentukan beberapa saran berikut:

1. Mengurangi konsentrasi minyak dan lemak dengan tidak membuang sisa minyak penggorengan pada bak cuci piring.
2. Pembuatan unit penangkap minyak dan lemak pada masing-masing blok rusunawa.
3. Pembuatan *Standard Operational Procedure* (SOP) pemeliharaan pada unit ABR dan biofilter anaerobik.
4. Pemeriksaan dan pengurasan lumpur secara berkala pada kedua unit IPAL.
5. Pencucian/ penggantian media filter pada unit biofilter anaerobik.
6. Pembuatan pipa vent pada unit biofilter anaerobik.

“halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, J. (2003). Immobilization of Activated Sludge in A Column Type Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Majalah IPTEK*, Vol. 4 No. 4 hal. 185-192.
- Alaerts, G., dan Santika, S. S. (1987). *Metode Penelitian Air*. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.
- Anonim. (2010). *Draft Buku Putih Sanitasi Kota Surabaya*.
- Anonim. (2003). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*.
- Anonim. (2013). *Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya*.
- Anonim¹. (2010). *Operation of Wastewater Treatment Plants*. 4th edition, Vol. 1. California State University. California.
- APHA. (2005). *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. American Public Health Association. Washington.
- Aymong, G. G. (2007). *Controlling FOG with Automatic Electrical/ Mechanical Grease Removal Devices*. Water online. The Waste Water Solutions Update 7/11/2007.
- Barber, W. P., dan Stuckey, D. C. (1999). The Used of An Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment: A Review. *Water Res.* 33 (Orozco, 1997) 1559.
- Brown dan Caldwell. (2001). *A Guidebook for Local Governments for Developing Regional Watershed Protection Plans*. Georgia Environmental Protection Division.
- Bwapwa, J. K. (2012). *Treatment Efficiency of An Anaerobic Baffled Reactor Treating Low Biodegradable and Complex Particulate Wastewater (blackwater) in An ABR Membrane Bioreactor Unit (MBR-ABR)*.

International Journal of Environmental Remediation and Pollution. Vol. 1, Issue 1.

Cervantes, F. J., Pavlostathis, S. G., Haandel, A. C. (2006). Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters: Principles and Applications. IWA Publishing.

Chaudhary, D. S., Vigneswaran, S., Ngo, H., Shim, W. G., dan Moon, H. (2003). Biofilter in Water and Wastewater Treatment. Korean Journal of Chemistry Engineering, 20 (6), 1054-1065.

Crites, R., dan Tchobanoglous, G. (1998). Small and Decentralized Wastewater Management Systems. Water Resources and Environmental Engineering, 1. WCB/McGraw-Hill. Boston. 1084 pp.

Dama, P., Bell, J., Foxon, K. M., Brouckaert, C. J., Huang, T., Buckley, C. A., Naidoo, V., dan Stuckey, D. C. (2002). Pilot Scale Study of An Anaerobic Baffled Reactor for The Treatment of Domestic Wastewater. Water Science & Technology, 46 (9), pp. 263-270.

Del Porto, D., dan Steinfeld, C. (1999). The Composting Toilet System Book, 1. The Center for Ecological Pollution Prevention, Concord, 234 pp.

Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Cetakan Kelima.

EPA. (2004). Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.

Fardiaz, S. (1992). Mikrobiologi Pangan 1. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Ferraz, F. M., Bruni, A. T., Bianchi, V. L. (2009). Performance of An Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in Treatment of Cassava Wastewater. Brazilian Journal of Microbiology, 40:48-53.

- Frostell, B. (1983). Anaerobic-Aerobic Biological Treatment of Starch Industry Waste Waters. *Starch-Stärke* 35. 185-189.
- Foxon, K., Dama, P., Brouckaert, C., and Buckley, C. (2001). Design Considerations for The Implementation of An Anaerobic Baffled Reactor in Low-Income Settlements in Kwa-Zulu Natal. *Proc. Of the IWA Conf. On Water and Wastewater Management for Developing Countries, Malaysia*.
- Foxon, K., Buckley, C., Brouckaert, C., Dama, P., Mtembu, Z., Rodda, N., Smith M., Pillay, S., Arjun, N., Lalbahadur, T., dan Bux, F. (2006). The Evaluation of The Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-Urban Settlements. *Durban Institute of Technology, Durban*.
- Garg, S. K. (1994). *Sewage Disposal and Air Pollution Engineering*. 9th revised edit. Khanna Publishers, New Delhi.
- Hassell, D. G., Chan, Y. J., Chong, M. F., dan Law, C. L. (2009). A Review on Anaerobic-Aerobic Treatment of Industrial and Municipal Wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155, 1-18.
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J., dan Arvin, E. (1997). Biological and Chemical Processes. In *Wastewater Treatment*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Herlambang, A., dan Marsidi, R. (2010). Proses Denitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat. *Jurnal Teknologi Lingkungan: Vol. 4 No. 1: 46-55*.
- Jamilah, I., Syafruddin, dan Mizarwati. (1998). Pembentukan dan Kontrol Biofilm *Aeromonas hydrophila* pada Bahan Plastik dan Kayu. Laporan Penelitian. Lembaga Penelitian USU. Medan.
- Kling, S. (2007). Determination of Domestic Wastewater Characteristics and Its Relation to The Type and Size of Developments. Laporan Tesis. Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.

- Ledin, A., Eriksson, E., dan Henze, M. (2001). Aspects of Groundwater Recharge Using Grey Wastewater. In: P. Lens, G. Zeemann and G. Lettinga (Editors). Decentralized Sanitation and Reuse. London. 650 pp.
- Leslie, C. P., Grady, Jr. G. T., Daigger, H., dan Lim, C. (1999). Biological Wastewater Treatment. 2nd ed., revised and expanded. CRC Press.
- Mahmoud, N. (2011). Wastewater Characteristic. Birzeit University.
- Manariotis, I., and Grigoropoulos, S. (2002). Low-Strength Wastewater Using An Anaerobic Baffled Reactor. Water Environmental Research 74 (2), 170-176.
- Metcalf dan Eddy. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse. McGraw-Hill Companies Inc. China.
- Morel, A., dan Diener, S. (2006). Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households or Neighborhoods. Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG). Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC).
- Nasution, M. I. (2008). Penentuan Jumlah Amoniak dan Total Padatan Tersuspensi pada Pengolahan Air Limbah PT. Bridgestone Sumatera Rubber Estate Dolok Merangir Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Nguyen, H., Turgeon, S., dan Matte, J. (2010). The Anaerobic Baffled Reactor: A Study of The Wastewater Treatment Process Using The Anaerobic Baffled Reactor. Borchester Polytechnic Institute, USA.
- Noutsopoulos, C., Mamais, D., Antoniou, K., Avramides, C., Oikonomopoulos, P., Fountoulakis, I. (2013). Anaerobic Co-Digestion of Grease Sludge and Sewage Sludge: The Effect of Organic Loading and Grease Sludge Content. Bioresource Technology. 131, 452-459.
- Nurmayanti. (2002). Kontribusi Limbah Domestik Terhadap Kualitas Air Kaligarang Semarang. Laporan Tesis.

Program Pasca Sarjana Universitas Gajahmada.
Yogyakarta.

- Polprasert, C. (1989). Organic Waste Recycling. Asian Institute of Technology. Bangkok.
- Purwanto, B. (2004). Sistem Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga di Kota Tangerang. Percik, Vol. 5 tahun 1.
- Quemeneur, M., dan Marty, Y. (1994). Fatty Acids and Sterols in Domestic Wastewater. Water Res. 28 (5), 1217-1226.
- Said, N. (2000). Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilm Tercelup. Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol.1 No.2: 101-113.
- Said, N. I., dan Herlambang, A. (2002). Penurunan Kadar Zat Organik dalam Air Sungai dengan Biofilter Tercelup Struktur Sarang Tawon. BPPT.
- Sasongko, L. A. (2006). Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk di Sekitar Sungai Tuk Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya. Laporan Tesis. Program Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sasse, L. (1998). Dewats: Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries. Borda. Delhi.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., dan Parkin, G.F. (2003). Chemistry for Enviromental Engineering and Sciences. 5th ed. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- Shirish, S., Haberl, R., Moog O., Shrestha, R. R., Shrestha, P., dan Shrestha, R. (2009). Performance of An Anaerobic Baffled Reactor and Hybrid Constructed Wetland Treating High-Strength Wastewater in Nepal – A Model for DEWATS. Journal: 35, 654-660.
- Soewondo, P., Kardena, E., dan Handajani, M. (2009). Pengantar Pengolahan Air Limbah 1. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Sperling, M. von, dan Chernicharo, L. C. A. de. (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate

Regions Volume 1. London: International Water Association (IWA) Publishing.

Suriawiria, U. (1996). Air dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat. Penerbit Alumni. Bandung.

Suripin. (2002). Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

Wijeyekoon, S., Mino, T., Satoh, H., dan Matsuo, T. (2000). Growth and Novel Structural Features of Tubular Biofilms. Journal Water Science and Technology.

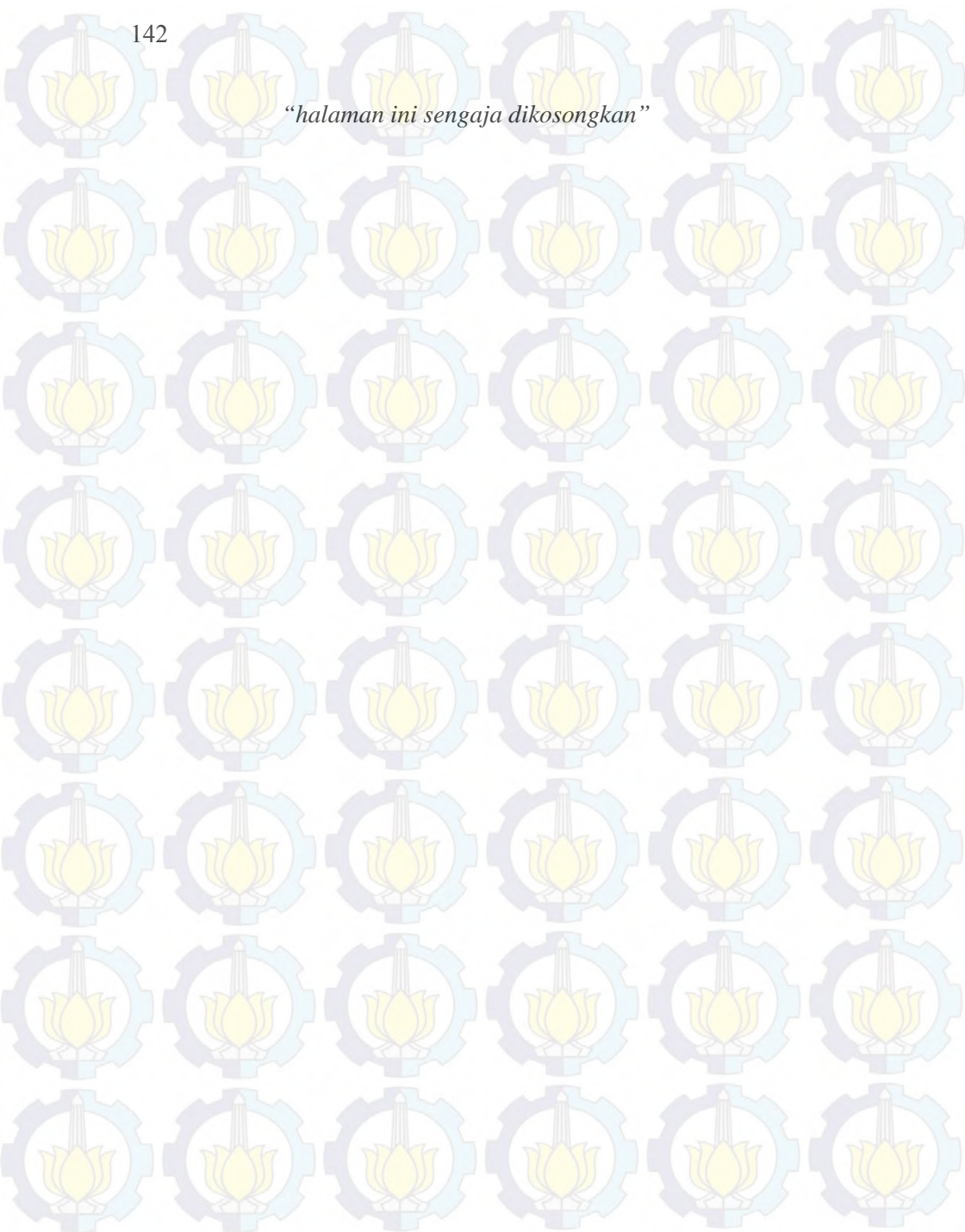
LAMPIRAN A
PERATURAN GUBERNUR JAWA TIMUR NOMOR
72 TAHUN 2013

Baku Mutu Air Limbah Domestik (Permukiman/ *Real Estate*, Rumah Makan/ Restoran, Perkantoran, Perniagaan, Apartemen, Perhotelan, dan Asrama).

BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK		
Volume Limbah Cair Maksimum 120 L/ (orang.hari)		
Parameter	Kadar Maksimum	Satuan
BOD5	30	mg/L
COD	50	mg/L
TSS	50	mg/L
Minyak dan Lemak	10	mg/L
pH	6-9	-

Sumber: Pergub Jatim No. 72 Hal. 39, 2013

“halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN B

METODE ANALISIS LABORATORIUM KUALITAS AIR LIMBAH

I. Analisis *Biological Oxygen Demand* dengan Metode Winkler.

Bahan dan Alat

1. Larutan Buffer Fosfat.
2. Larutan Magnesium Sulfat.
3. Larutan Kalium Klorida.
4. Larutan Feri Klorida.
5. Bubuk Inhibitor Nitrifikasi.
6. Benih atau Inhibitor, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gr diencerkan dengan 100 mL air.
7. Larutan Mangan Sulfat.
8. Larutan Pereaksi Oksigen.
9. Indikator Amilum 0,5%.
10. Asam Sulfat Pekat.
11. Larutan Standar Natrium Tiosulfat 0,0125 N.
12. Aerator untuk mengaerasi air pengencer.
13. Ember untuk air pengencer.
14. Botol winkler 300 mL sebanyak 2 buah.
15. Botol winkler 150 mL sebanyak 2 buah.
16. Inkubator dengan suhu 20°C.
17. Labu takar 500 mL sebanyak 1 buah.
18. Pipet 10 mL dan 5 mL.
19. Gelas ukur 100 mL sebanyak 1 buah.
20. Buret 25 mL atau 50 mL.
21. Erlenmeyer 250 ml sebanyak 1 buah.

Prosedur Percobaan

A. Pembuatan Air Pengencer

Air pengencer tergantung dari banyaknya sampel yang dianalisis dan pengencerannya, prosedur sebagai berikut:

1. Tambahkan 1 mL larutan Buffer Fosfat per liter air.

2. Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter air.
3. Tambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter air.
4. Tambahkan 1 mL larutan Feri Klorida per liter air.
5. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor.
6. Aerasi minimal selama 2 jam.
7. Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air.

B. Prosedur BOD

• *Menentukan Pengenceran*

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besar pengenceran melalui angka $KMnO_4$ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{3 \text{ atau } 5}$$

• *Prosedur BOD dengan Winkler*

1. Siapkan 1 buah labu takar 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
2. Siapkan 2 buah botol Winkler 300 ml dan 2 buah botol Winkler 150 mL.
3. Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol Winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
4. Tuangkan air pengencer ke botol Winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
5. Masukkan kedua botol Winkler 300 ml ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
6. Kedua botol Winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat.
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu dikocok beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, lalu tutup dan kocok kembali.
 - Tuangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL.

- Titrasi dengan larutan Natrium tiosulfat 0,0125 N hingga warna berubah menjadi coklat muda.
 - Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang.
7. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol Winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
8. Hitung Oksigen Terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/L)} = \frac{\{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)\} \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{Volume sampel (mL)}}{\text{Volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan:

X_0 = Oksigen terlarut sampel pada hari ke-0

X_5 = Oksigen terlarut sampel pada hari ke-5

B_0 = Oksigen terlarut blanko pada hari ke-0

B_5 = Oksigen terlarut blanko pada hari ke-5

P = Derajat pengenceran

II. Analisis *Chemical Oxygen Demand* dengan Metode Refluks Tertutup.

Bahan dan Alat

1. Kristal Merkuri Sulfat (Hg_2SO_4).
2. Larutan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,25 N.
3. Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 N.
4. Larutan H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
5. Larutan Indikator Fenanthroline Fero Sulfat (Feroin).
6. Buret 50 mL 1 buah.
7. Erlenmeyer COD 1 buah.
8. Pipet 5 mL.
9. Pipet tetes 1 buah.
10. Spatula 1 buah.
11. Tabung refluks tertutup.

12. Kompor listrik.

Prosedur Percobaan

1. Masukkan 1 spatula Hg_2SO_4 ke dalam tabung refluks.
2. Tambahkan 2,5 mL sampel uji atau akuades sebagai blanko.
3. Tambahkan 1,5 mL larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
4. Tambahkan 3,5 mL larutan Ag_2SO_4 dan H_2SO_4 .
5. Kocok hingga tercampur rata.
6. Panaskan pada kompor listrik selama 2 jam.
7. Dinginkan sampel/ blanko, lalu tuang ke erlenmeyer COD.
8. Teteskan 1-2 tetes indikator Feroiin.
9. Titrasi dengan FAS 0,05 N hingga terjadi perubahan warna menjadi merah kecoklatan.
10. Untuk blanko perlu dititrasi 2 kali agar didapatkan nilai perhitungan f.
11. Hitung nilai COD dan nilai f.

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(\text{titran blanko} - \text{titran sampel}) \times N \text{ FAS} \times 8000 \times f}{\text{Volume sampel}}$$

$$f = \frac{\text{titran blanko}}{\text{titran FAS}}$$

III. Analisis *Total Suspended Solid* dengan Metode Gravimetri.

Bahan dan Alat

1. Kertas saring.
2. Cawan porselain 50 mL.
3. Cawan petridis.
4. Furnace dengan suhu 550°C .
5. Oven dengan suhu 105°C .
6. Timbangan analitis.
7. Desikator.
8. Vacuum filter.

Prosedur Percobaan

1. Masukkan cawan porselin ke dalam furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, lalu masukkan ke oven 105°C selama 15 menit.

2. Masukkan kertas saring ke dalam oven 105°C selama 1 jam.
3. Dinginkan cawan dan kertas saring di dalam desikator selama 15 menit.
4. Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis.
5. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vakum filter.
6. Tuangkan 25 mL sampel di atas filter yang telah dirangkai dan catat volume sampelnya.
7. Saring sampel hingga tidak ada air sampel yang tersisa pada filter.
8. Letakkan kembali kertas saring pada cawan lalu masukkan ke dalam oven 105°C selama 1 jam.
9. Dinginkan ke dalam desikator selama 15 menit.
10. Timbang pada timbangan analitis.
11. Hitung konsentrasi TSS menggunakan rumus berikut:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(f-e) \times 1000 \times 1000}{g}$$

Keterangan:

e = berat cawan kosong setelah difurnace 550°C dan dioven 105°C

f = berat cawan dan residu setelah dioven 105°C

g = volume sampel (mL)

IV. Analisis Minyak dan Lemak dengan Metode Labu Soxhlet.

Bahan dan Alat

1. Kertas saring.
2. Larutan HCl pekat 1 mL.
3. Larutan n-Heksana.
4. Labu soxhlet.
5. Corong pemisah.
6. Pipet volumetri 10 mL.
7. Gelas ukur.
8. Gelas beaker.
9. Timbangan analitis.
10. Vakum filter.
11. Ekstraktor.

12. Kondensor.
13. Oven 105°C.

Prosedur Percobaan

1. Masukkan labu soxhlet ke dalam oven 105°C selama 1 jam lamanya.
2. Dinginkan labu soxhlet ke dalam desikator selama 15 menit.
3. Timbang labu soxhlet pada timbangan analitis, catat beratnya.
4. Ambil 25 mL sampel menggunakan gelas ukur lalu tuang ke dalam gelas beaker.
5. Rangkai alat vakum filter, lalu letakkan kertas saring pada alat filter.
6. Nyalakan vakum filter, kemudian tuang sampel ke dalam filter.
7. Saring air sampel hingga tidak tersisa lalu matikan vakum filter dan lepas rangkaiannya.
8. Ambil kertas saring lalu dilipat rapi kalau perlu distaples dan diberi kode sampel.
9. Air sampel yang tersaring dimasukkan kembali ke gelas beaker.
10. Masukkan air sampel yang telah disaring ke dalam corong pemisah.
11. Tambahkan 1 mL HCl pekat ke dalam corong pemisah.
12. Tambahkan 10 mL larutan n-Heksana lalu kocok selama 3 kali.
13. Setiap kali setelah dikocok, udara dalam corong pemisah dilepaskan.
14. Pisahkan minyak dan air sampel di dalam corong pemisah.
15. Tuang lapisan minyak ke dalam labu soxhlet, sedangkan air sampel dimasukkan kembali ke dalam corong pemisah.
16. Ulangi langkah nomor 12 hingga 2 kali.
17. Lapisan minyak di labu soxhlet untuk kemudian diekstraksi pada rangkaian alat ekstraktor. Dan masukkan kertas saring ke dalam ekstraktor pula.

18. Masukkan labu soxhlet yang telah diekstraksi ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
19. Dinginkan labu soxhlet ke dalam desikator selama 15 menit.
20. Timbang labu soxhlet pada neraca analitis, catat berat akhirnya.
21. Hitung konsentrasi Minyak dan Lemak menggunakan rumus berikut:

$$\text{Minyak dan Lemak (mg/L)} = \frac{(a-b) \times 1000 \times 1000}{\text{volume sampel}}$$

Keterangan:

a = berat akhir labu (gr)

b = berat awal labu (gr)

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C

HASIL ANALISIS LABORATORIUM

Tabel C. 1 Hasil Analisis Minyak dan Lemak pada 15 April 2014

<i>Sampling 15 april 2014</i>				
Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	OFG
A	107,1673	107,3438	0,1765	7060
B	106,9551	107,3960	0,4409	17636
C	108,5973	108,8656	0,2683	10732
D	107,4803	107,8708	0,3905	15620
E	108,0795	108,5130	0,4335	17340
F	107,5841	107,6620	0,0779	3116

Sumber : Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS, 2014

Tabel C. 2 Hasil Analisis Minyak dan Lemak pada 22 April 2014

<i>Sampling 22 april 2014</i>				
Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	OFG
A	106,4816	106,7316	0,25	10000
B	107,1821	107,1897	0,0076	304
C	107,4867	107,4942	0,0075	300
D	107,5450	107,7945	0,2495	9980
E	109,9287	110,2991	0,3704	14816
F	120,5085	120,5183	0,0098	392

Sumber : Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS, 2014

Tabel C. 3 Hasil Analisis Minyak dan Lemak pada 29 April 2014

<i>Sampling 29 april 2014</i>				
Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	OFG
A	107,1844	107,5479	0,3635	14540
B	108,1140	108,1203	0,0063	252
C	106,4646	106,6758	0,2112	8448
D	107,4924	107,7928	0,3004	12016
E	107,5511	107,9674	0,4163	16652
F	120,5167	120,5182	0,0015	60

Sumber : Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS, 2014

Tabel C. 4 Hasil Analisis Minyak dan Lemak pada 6 Mei 2014

<i>Sampling 6 mei 2014</i>				
Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	OFG
A	106,4463	106,4507	0,0044	176
B	107,4857	107,8454	0,3597	14388
C	106,9592	106,9650	0,0058	232
D	108,6056	108,9535	0,3479	13916
E	120,4965	120,6053	0,1088	4352
F	118,8852	118,8866	0,0014	56

Sumber : Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS, 2014

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Endah Septyani Hari Saputri lahir di Kota Surabaya pada tanggal 30 September 1991. Lahir dari pasangan Harianto dan Sumarni Yuliandayati sebagai anak pertama dari dua bersaudara dengan adik perempuan bernama Falinda Dwi Ningrum. Penulis telah menempuh serangkaian pendidikan formal di TK Rahayu Surabaya, SDN

Pacarkembang II Surabaya, SDK Yos Soedarso Blitar, SMP Negeri 2 Blitar, dan SMA Negeri 1 Blitar. Melalui program SNMPTN tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan sarjana (S1) di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Semasa kuliah, penulis terlibat dalam kegiatan pengkaderan mahasiswa baru dan organisasi BE-LM FTSP pada Departemen Riset dan Teknologi tahun 2011-2012. Kegiatan Kerja Praktik telah penulis laksanakan di PT Teknindo Geosistem Unggul pada tahun 2013. Selanjutnya penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Rusunawa Tanah Merah II Surabaya. Segala bentuk komunikasi kepada penulis dapat disampaikan melalui e-mail: endahsaputrish@gmail.com.